

Henri Vornanen


Leikkaussalin ilmanvaihdon todentamis- mittaukset

Opinnäytetyö
Talotekniikan koulutusohjelma

Huhtikuu 2016



KUVAILULEHTI

 MAMK University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä 15.04.2016
Tekijä(t) Henri Vornanen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka
Nimeke Leikkaussalin ilmanvaihdon todentamismittaukset	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa leikkaussalin ilmanvaihdon laatua ja toimivuutta todentavat mittaukset. Leikkaussalin sisäilman puhtaus on merkittävä tekijä leikkauksien ja toimenpiteiden aikana tapahtuvien infektioiden ehkäisemisessä. Lisäksi leikkaussalin sisäilmaston tulee taata sekä potilasturvalliset olosuhteet, että miellyttävät työskentelyolosuhteet leikkaussalissa työskentelevälle henkilökunnalle.</p> <p>Suomessa ei ole tällä hetkellä voimassa olevaa standardia leikkaussalien ilmanvaihdon suunnitteluun ja ilmanvaihdon laatukriteerien määrittämiseen. Viranomaisvaatimusta ei myöskään ole voimassa leikkaussalien ilmanvaihdon säännölliseen toiminnan ja laadun varmistamiseen. Tällä hetkellä on kuitenkin tekeillä yleiseurooppalainen CEN-standardi, jonka tavoitteena on yhtenäistää leikkaussalien ilmanvaihdon suunnittelu, asettaa leikkaussalin ilmanvaihdolle tarvittavat laatukriteerit ja määrittää säännöllisin väliajoin tehtävät mittaukset. Tekeillä oleva standardi määrittää leikkaussalin ilmanvaihdon mitoittavaksi tekijäksi leikkaussalin sisäilman CFU-pitoisuuden. CEN-standardityöryhmän työ on tällä hetkellä siinä vaiheessa, että standardiluonnoksen odotetaan lähtevän lausuntokierrokselle vuoden sisällä.</p> <p>Leikkaussalin ilmanvaihdon todentamismittaukset toteutettiin erään yliopistollisen sairaalan leikkaussalissa. Mittaukset toteutettiin siten, että ne vastasivat tekeillä olevan standardin vaatimuksia. Todentamismittauksien yhteydessä tarkastettiin leikkaussalin ilmanvaihdon yleisilme ja toimivuus. Mittauksissa tutkittiin leikkaussalin sisäilman mikrobiologinen puhtaus, hiukkaspitoisuus, painesuhteet ympäröiviin tiloihin, ilmanvaihdon ilmamäärät ja virtauskuviot sekä sisäilmasto-olosuhteet. Mittauksissa leikkaussalin todettiin täyttävän suurelta osin CEN-standardiluonnoksen asettamat Ultra Clean Air-luokan vaatimukset.</p> <p>Todentamismittauksien tulevaisuutta ajatellen merkittävin kehitystarve on pystyä suorittamaan mittauksia oikeiden leikkauksien aika, jolloin saadaan selville ilmanvaihdon todellinen kyky hallita epäpuhtauksia.</p>	
Asiasanat (avainsanat) Leikkaussali, ilmanvaihto, mittaaminen	
Sivumäärä 76 (10)	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Mika Ruponen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Granlund Kuopio Oy

DESCRIPTION

 MAMK University of Applied Sciences	Date of the bachelor's thesis 15.04.2016
Author(s) Henri Vornanen	Degree programme and option Building services engineering
Name of the bachelor's thesis Measurements for operating room ventilation verification.	
Abstract <p>The aim of this bachelor thesis was to accomplish a group of measurements that verifies operation and standard of ventilation in operating room. Indoor air cleanliness in operating room is a significant factor to prevent infections during surgery and other operations. In addition, the operating room indoor climate must be guaranteed as well as patient safety conditions and comfortable conditions for staff to work in the operating room.</p> <p>Finland doesn't have a current standard for designing the operating room ventilation and to determine the quality criteria for the ventilation. Official requirement is also not valid for regular checking of operation of ventilation and to ensure to quality of indoor air regularly. Currently however there is in the making a CEN-standard which aim is to unify the operating room ventilation design, to set up criteria for air quality and to determine the periodic measurements. The going on standard determines CFU-concentration as the measurable factor of the operating room ventilation. CEN-standard working group is currently at the stage that the draft standard is expected to leave circulate for comment within a year.</p> <p>Measurements to verify operating room ventilation carried out in a university hospital operating room. The measurements were carried in such a way that they corresponded to the requirements of the standard going on. In connection with measurements we inspected the operating room ventilation overall appearance and functionality. The measurements included air microbiological purity, particle concentration, pressure relationships with the surrounding rooms, ventilation air volume and flow patterns and indoor climate conditions. In the measurements operating room ventilation were found to mostly meet Ultra Clean Air type operating room requirements of the draft CEN standard.</p> <p>Thinking about the future of the measurements the most important development thing is the need to be able to perform measurements in a real time of surgery. At the time of real surgery the ventilation actual ability to control contaminants can be established.</p>	
Subject headings, (keywords) Operating room, ventilation, measurements	
Pages 76 (10)	Language Finnish
Remarks, notes on appendices 	
Tutor Mika Ruponen	Bachelor's thesis assigned by Granlund Kuopio Oy

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ILMANVAIHTO JA SISÄILMASTO.....	2
2.1	Ilman ominaisuudet.....	2
2.2	Yleistä ilmanvaihdosta	4
2.3	Ilmanvaihtoa koskevat ohjeet ja määräykset	7
2.4	Sisäilmaston ominaisuudet ja siihen vaikuttavat tekijät.....	9
3	LEIKKAUSSALIN ILMANVAIHDON VAATIMUKSET JA TEKNIikka ...	14
3.1	Lämpöolot.....	15
3.2	Kosteus	16
3.3	Epäpuhtaudet	16
3.4	Painesuhteet ja tiiveys	19
3.5	Ilman suodatus	20
3.6	Ilmanvaihto ja ilmanjakotavat	23
3.6.1	Sekoittava ilmanjako.....	23
3.6.2	Laminaarinen ilmanjako.....	25
3.6.3	Yhdistelmäilmanjako	26
3.7	CEN-TC156-WG18-standardi	27
3.7.1	Ilmanvaihtojärjestelmä.....	28
3.7.2	Leikkaussalin ilmanjako ja suorituskyykyvaatimukset	31
4	LEIKKAUSSALIN ILMANVAIHDON TODENTAMISMITTAUKSET	35
4.1	Mittausten tausta	35
4.2	Mittausmenetelmät.....	36
4.3	Uudet salit.....	38
4.4	Ylläpidon aikaiset todentamismittaukset.....	41
5	PILOTTIMITTAUKSET YLIOPISTOLLISEN SAIRAALAN LEIKKAUSSALISSA.....	42
5.1	Kohde	42
5.2	Mittausten suoritus ja käytetyt mittalaitteet.....	45
5.2.1	Järjestelmän yleistarkastus	45
5.2.2	Ilman hiukkaspuhtauden määrittäminen	45
5.2.3	Ilman mikrobiologisen puhtauden määrittäminen	46

5.2.4	Leikkaussalin toipumisaika ja leikkaussalivalaisinten häiriövaikutuksen määrittäminen	47
5.2.5	Leikkaussalin painesuhteiden tarkistus	47
5.2.6	Hepa-suodattimien tiiveyskoe	48
5.2.7	Leikkaussalin olosuhteiden määrittäminen ja seuranta	48
5.2.8	Leikkaussalin ilmamäärien tarkistus ja ilman virtauskuvion tarkistus	49
5.2.9	Leikkaussalin pintapuhtauden tarkistus	49
6	MITTAUKSIEN TULOKSET	50
6.1	Järjestelmän yleistarkastus	50
6.2	Ilman hiukkaspuhtaus	51
6.3	Ilman mikrobiologinen puhtaus	54
6.4	Leikkaussalin toipumisaika ja leikkaussalivalaisinten häiriövaikutus	56
6.5	Leikkaussalin painesuhteet	58
6.6	Hepa-suodattimien tiiveys	58
6.7	Leikkaussalin olosuhteet	60
6.8	Leikkaussalin ilmamäärät ja ilman virtauskuviot	67
6.9	Leikkaussalin pintapuhtaus	69
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	71
7.1	Mittauksien kehitystarpeet ja tulevaisuus	73
	LÄHTEET	75

LIITTEET

- 1 Suomen rakentamismääräyskokoelma D2, taulukko 7, Hoitolaitokset
- 2 Standardiluonnoksen CEN/TC156/WG18 Leikkaussalin ilmanvaihdon suorituskyky kriteerit
- 3 Leikkaussalin iv-tasokuva
- 4 Leikkaussalin iv-periaatekaavio
- 5 Leikkaussalin rau-säätökaavio
- 6 Äänimittauksen tulokset terassikaistoittain
- 7 Seurantamittauksien tulokset
- 8 Pintapölynäytteiden tulokset

1 JOHDANTO

Leikkaussalin ilman puhtaus ja oikein toimiva ilmanvaihtojärjestelmä ovat merkittäviä tekijöitä leikkauksien ja toimenpiteiden jälkeisten infektioiden ehkäisyssä leikkaushaavassa. Tutkimuksissa on pystytty osoittamaan, että suurin osa leikkauksen aikana leikkaushaavaan päässeistä mikrobeista on kulkeutunut haavaan ilman välityksellä tai ne ovat peräisin leikkaussalin sisäilmasta. Leikkaussalin ilmanvaihdon tärkein tehtävä on ehkäistä ihmisistä ja muista epäpuhtauslähteistä emittoituvien mikrobien ja muiden epäpuhtauksien aiheuttamaa riskiä potilaalle.

Suomessa ei ole tällä hetkellä voimassa olevaa standardia leikkaussalien ilmanvaihdon suunnitteluun ja ilmanvaihdon laatuksien määrittämiseen. Euroopan eri maista löytyy kansallisia standardeja, joiden sisällöt poikkeavat hieman toisistaan. Tällä hetkellä on kuitenkin tekeillä jo luonnosvaiheessa oleva eurooppalainen CEN-standardi. Tulevan standardin tavoitteena on yhtenäistää leikkaussalien ilmanvaihdon suunnittelu sekä määrittää leikkaussalin ilmanvaihdon suorituskriteerit, jotta haluttu puhtaustaso leikkaussalissa saavutetaan. Standardi määrittää leikkaussalin puhtausluokan ilman hiukkaspitoisuuden perusteella ja määrittää operaatioiden aikaisen ilmanvaihdon mitoittavaksi tekijäksi leikkaussalin ilman CFU-pitoisuuden. CFU-pitoisuus tarkoittaa leikkaussalin ilman pesäkkeen muodostavien yksiköiden konsentraatiota (CFU/m³). Lisäksi standardissa on asetettu kriteerit leikkaussalin ilmanvaihdon suorituskäytölle palautua normaalitasoon epäpuhtauskuormituksen jälkeen. Standardityöryhmän työ on jo edennyt niin pitkälle, että standardin odotetaan lähtevän lausunkierrokselle noin vuoden sisällä.

Leikkaussalien ilmanvaihdon mittaamiseen ja todentamiseen ei myöskään ole voimassa olevaa viranomais määräystä tai velvoitetta. Tällä hetkellä leikkaussalien ilmanvaihdon laadun tarkkailu on pelkästään sairaaloiden omien tutkimusten varassa. Tässä opinnäytetyössä toteutettiin erään yliopistollisen sairaalan leikkaussalissa ilmanvaihdon todentamismittaukset standardiluonnoksen tämän hetkisten vaatimuksien mukaan.

Opinnäytetyössä toteutetut ilmanvaihdon todentamismittaukset suoritettiin leikkaussalin ollessa At Rest -tilassa. Tämä tarkoittaa, että leikkaussalin ilmanvaihto toimii samalla tavalla kuin se toimisi oikean operaation aikana, mutta leikkaussalissa ei mittausten aikana ollut leikkausta suorittavaa henkilökuntaa. Mittauksissa tutkittiin leik-

kaussalin ilman hiukkaspuhtaus, mikrobiologinen puhtaus, ilmamäärät ja ilman virtauskuviot, painesuhteet ympäröiviin tiloihin, pintapuhtaus sekä leikkaussalin sisäilmaston olosuhteet.

Opinnäytetyössä tutkitun leikkaussalin todettiin täyttävän suurilta osin standardiluonnoksen määrittämän erittäin korkean hygienian Ultra Clean Air -luokan vaatimukset. Erittäin korkean hygienian leikkaussaleja voidaan käyttää korkean infektioriskin leikkauksissa, kuten nivel-, sydän- ja aivokirurgiassa. Opinnäytetyön johtopäätökset - osiossa tarkastellaan myös leikkaussalien ilmanvaihdon todentamismittauksien tulevaisuutta ja kehitystarpeita.

2 ILMANVAIHTO JA SISÄILMASTO

Ilma ympäröi meitä ja rakennusten rakenteita joka puolella. Rakennusten rakenteiden terveyden, toimivan ilmanvaihdon ja terveellisen sisäilmaston saavuttamiseksi on syytä ymmärtää ilman fysikaalisten ominaisuuksien teoriaa. Tässä kappaleessa käydään läpi ilman ominaisuuksia sekä ilmanvaihdon perusteita.

2.1 Ilman ominaisuudet

Ilma on erilaisten kaasujen seos. Kuiva ilma koostuu pääasiassa typestä, hapesta ja argonista. Kuiva ilma sisältää noin 78 prosenttia typpeä, 21 prosenttia happea ja noin 1 prosentin argonia. Ilmassa sisältää myös vesihöyryä. Vesihöyryn osuus troposfääristä on yleensä noin 0,1–4 prosenttia. Lämpimään ilmaan on yleensä sitoutunut enemmän vesihöyryä kuin kuivaan ilmaan. Ilma sisältää myös hyvin pieniä määriä myös niin sanottuja hivenkaasuja, näitä ovat esimerkiksi hiilidioksidi ja metaani. Ilmassa esiintyvien vähäisten kaasumäärien pitoisuus ilmaistaan tavallisesti miljoonasosana (ppm). Hiilidioksidi on yksi ilmakehän yleisimmistä ja tunnetuimmista hivenkaasuisista, ja sen määräksi ilmakehässä on arvioitu vuonna 2001 noin 0,0391 prosenttia, eli 391 ppm. Hiilidioksidi on myös merkittävin maapallon kasvihuoneilmiötä voimistava tekijä. /1./

Ilman lämpötilan muuttuessa muuttuvat myös sen ominaisuudet. Lämpötilan mukaan muuttuvia ilman ominaisuuksia ovat tilavuus, tiheys ja kyky sitoa kosteutta. Talo- ja

rakennustekniikan kannalta merkittävin muutos tapahtuu ilman kyvyssä sitoa kosteutta. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä suuremman määrän kosteutta se pystyy sitomaan. Ilman jäähtyessä se ei enää pysty sitomaan niin paljon vettä kuin lämpimänä, tällöin osa vedestä tiivistyy pois ilmasta.

Ilman kosteussisältöä ilmaistaan erilaisilla suureilla. Useimmin käytetyt suureet ovat ilman suhteellinen ja absoluuttinen kosteus. Suhteellinen kosteus on yleisin. Suhteellinen kosteus on prosenttiluku, joka ilmaisee, kuinka paljon ilmassa on tietyssä lämpötilassa vesihöyryä siihen nähden, mitä kyseisen lämpöinen ilma voi enimmillään sisältää vesihöyryä /4/.

Ilman suhteellinen kosteus (RH) voidaan määrittää kaavan 1 mukaisesti

$$\varphi = \frac{Ph'}{Ph} \quad (1)$$

jossa,

Ph' on kylläisen vesihöyryn paine

Ph on kostean ilman vesihöyryn paine.

Molemmat arvot tulee ilmoittaa samassa lämpötilassa. Absoluuttinen kosteus ilmaisee, montako grammaa vesihöyryä sisältyy kuutiometriin ilmaa. Yksikkönä käytetään grammoja kuutiometrissä (g/m^3) /4/.

Ilman absoluuttinen kosteus (x) voidaan määrittää kaavan (2) mukaisesti:

$$x = \frac{m_h}{m_i} \quad (2)$$

jossa

m_h on vesihöyryn määrä

m_i on kuivan ilman määrä.

Taulukossa 1 on esitetty ilman absoluuttinen vesisisältö suhteessa lämpötilaan ja suhteelliseen kosteuteen.

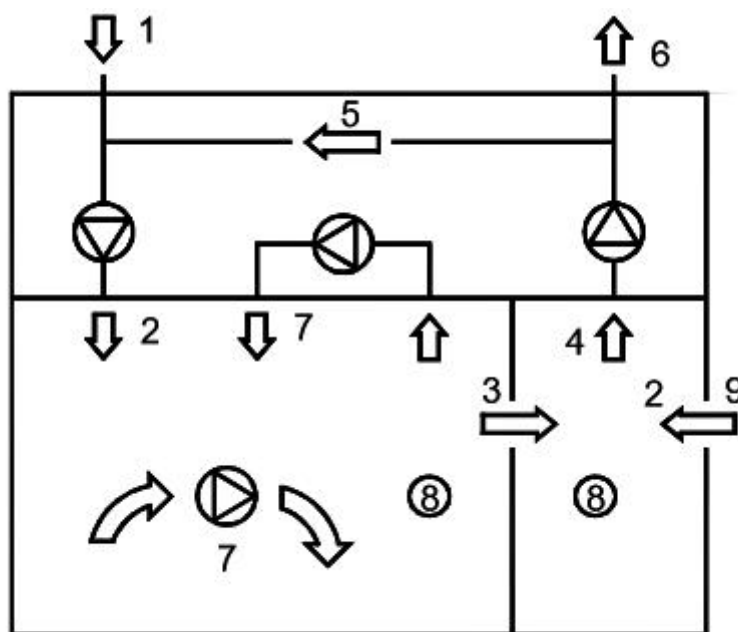
TAULUKKO 1. Suhteellisen kosteuden ja absoluuttisen kosteuden arvoja erilaisilla ilman lämpötiloilla /2/

Suhteellinen kosteus:	20%	40%	60%	80%	90%	100%
Ilman lämpötila °C	absoluuttinen kosteus: g/m ³					
80	58	116	174	232	261	290
70	39	78	118	157	176	196
60	26	52	78	104	117	130
50	17	33	50	66	75	83
40	10	20	31	41	46	51
30	6,1	12	18	24	27	30
20	3,5	6,9	10	14	16	17
10	1,9	3,8	5,6	7,5	8,5	9,4
0	1,0	1,9	2,9	3,9	4,4	4,9
-10	0,44	0,88	1,3	1,8	2,0	2,2
-20	0,18	0,35	0,53	0,70	0,79	0,88
-25	0,11	0,22	0,33	0,44	0,50	0,55
-30	0,07	0,13	0,20	0,26	0,30	0,33

Lämpimän ilman sisältämän veden tiivistyminen on syytä tietää myös rakennusteknisistä syistä. Kun ilman lämpötila laskee alle kastepisteen, alkaa kosteus tiivistyä vesipisaroiksi. Kastepiste tai tarkemmin kastepistelämpötila on se ilman lämpötila, jossa ilman sisältämän vesihöyryn tiivistyminen alkaa. Ilman lämpötilan tulee siis laskea tähän lämpötilaan jotta tiivistyminen käynnistyisi /5/. Ilman sisältämän vesihöyryn tiivistymistä tapahtuu, kun ilmavirta kohtaa kylmän pinnan, jonka lämpötila on alle kastepistelämpötilan /6, s.92/. Näin syntyy mahdollinen kosteusvaurioriski. Ilmankosteuden tiivistymistä kylmiin pintoihin käytetään myös hyväksi esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspattereissa.

2.2 Yleistä ilmanvaihdosta

Ilmanvaihdolla tarkoitetaan prosessia, jossa huoneilman laatua ylläpidetään tai parannetaan huoneen ilmaa vaihtamalla /3, s. 3/. Ilmanvaihto voidaan toteuttaa joko painovoimaisena tai koneellisena ilmanvaihtona. Kuvassa 1 on esitettyä ilmanvaihdossa käytetyt ilmavirtojen nimitykset. Ilmavirtojen nimitykset ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaiset.



KUVA 1. Ilmavirtojen nimitykset: 1. ulkoilma, 2. tuloilma, 3. siirtoilma, 4. poistoilma, 5. palautusilma, 6. jäteilma, 7. kierrätysilma, 8. sisäilma, 9. ulkoilma (korvausilma) /3, s. 3/

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilman vaihtuminen saa käyttövoimansa sisä- ja ulkoilman välillä vallitsevien lämpötilaerojen, tiheyserojen sekä tuulen vaikutuksesta. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilmavirrat vaihtelevat sääolosuhteiden vaihtelun mukaan. Painovoimaisen ilmanvaihdon järjestelmässä on jokaisesta poistoilmaventtiilistä johdettava oma erillinen hormi vesikaton läpi. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa hormoneja ei saa yhdistää. Mikäli hormoneja yhdistetään, on vaarana, että poistoilma siirtyy yhdistettyjen hormien kautta huoneesta tai huoneistosta toiseen. Asumishygieniaan ja paloturvallisuuteen perustuen tämä ei ole hyväksyttävää. /6, s.166-167./ Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmana on, ettei järjestelmässä ole ilmavirtaa, mikäli huoneilman ja ulkoilman välillä ei ole lämpötilaeroa. Tämä tilanne voi olla mahdollinen esimerkiksi lämpimänä kesäpäivänä /6, s.168/.

Poistoilmanvaihtoa voidaan tehostaa koneellisesti. Tällöin ilmanvaihtokanavat tulevat pienemmäksi, ja niiden sijoittelu on vapaampaa kuin painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä. Pientalojen poistoilmanvaihto järjestelmässä poistoilma kootaan yleensä huippumuriin tai poistoilmapuhalttimeen, joka on asuntokohtainen. Poistoilmanvaihto edellyttää ovirakoja, jotta poistoilma saadaan kulkemaan asuinhuoneista poistoventtiileihin. Periaatteena on, että ilma virtaa aina puhtaista tiloista likaisiin. Korva-

usilma tuodaan asuinhuoneisiin rakenteiden rakojen tai ulkoseiniin asennettujen korvausilmaventtiilien kautta. Koneellista poistoilmanvaihtoa on yleisesti käytetty asuin-kerrostaloissa. /6, s.170./

Kun myös tuloilma johdetaan asuntoon koneellisesti, voidaan rakennuksen vaippa rakentaa tiiviiksi ja energian säästön kannalta edulliseksi. Tällä tavoin saadaan jokaiseen huoneeseen suunnitelmien mukaiset tulo- ja poistoilmavirrat. Tuloilma on edullisinta johtaa puhtaisiin tiloihin, kuten makuu- ja olohuoneisiin. Poistoilma poistetaan likaisista tiloista, kuten WC-tiloista, kylpyhuoneesta ja vaatehuoneesta. /6, s.171./

Jotta ilmanvaihto toimisi hyvin, edellyttää se hyvin suunniteltua ja toteutettua ilmanjakoa. Ilmanjakoon lasketaan kuuluvaksi tulo- ja poistoilmaelimet sekä niissä tapahtuva virtaus ja niiden aiheuttamat virtaukset huoneessa /7, s.153/. Käytännössä ilmastointi on enintään niin hyvä kuin ilmanjaon toteutus. Huonosti toimivalla ilmanjaolla voidaan pilata muuten hyvä ilmastointilaitos. Onnistuneen ilmanjaon perusteena on tuntee virtausten ja ilmasuihkujen teoreettiset perusteet sekä ilmanjakolaitteiden ominaisuudet. Onnistuneesta ilmanjaosta muodostuu ilmanvaihdon ja ilmastoinnin tärkeä osa. /7, s.153./ Ilmastointi tarkoittaa ilman käsittelyä ilmastointikoneessa lämmittämällä, jäähdyttämällä, kostuttamalla, kuivaamalla tai puhdistamalla sekä käsitellyn ilman johtamista huonetiloihin /7, s. 332/.

Ilmanjaon toteutukseen on kolme eri peruseriaa: sekoittava, laminaarinen ja syrjäyttävä virtaus /7, s. 153/. Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilma pyritään saamaan sekoittumaan huoneilmaan mahdollisimman tehokkaasti. Sekoittuminen saadaan aikaan käyttämällä tuloilman päätelaitteissa ilmasuihkuja, joissa ilmannoisuus on välittömästi tuloilmaelimen jälkeen suuri, usein jopa useita metrejä sekunnissa. Näin tuloilmasuihku saadaan tunkeutumaan syvälle huoneeseen. Samalla saadaan huoneilmaa sekoittumaan tehokkaasti tuloilmaan. Tuloksena on lähes samanlaiset olosuhteet koko huonetilassa. /7, s.153./

Laminaarisen ilmanjaon järjestelmässä pyritään saamaan aikaan tasainen ilmavirta koko huoneessa tai huomattavassa osassa huonetta. Laminaarisessa ilmanjaossa laminaarisen ilmavirtauksen alueelle voidaan saada lähes tuloilman olosuhteita vastaavat olosuhteet. Ilma voi virrata huoneeseen pysty- tai vaakasuunnassa. Tasaisen ilmavirtauksen aikaan saamiseksi ilmanjaossa käytetään suuria pintoja. Mikäli tilassa pyritään

erittäin tarkkaan lämpöolosuhteiden säätöön tai tilalta vaaditaan erityistä puhtautta, käytetään tällöin yleensä laminaarista ilmanjakoa. Laminaarisessa ilmanjaossa saadaan vedottomasti aikaan suuria ilmanvaihtuvuuksia. /7, s. 154./ Laminaarisen ilmanvaihdon järjestelmässä ominaistulovirta voi olla $1000 \text{ m}^3/\text{h}, \text{m}^2$. Laminaarisen ilmavirran virtausnopeuden tulee olla vähintään $0,2 \text{ m/s}$, jotta virtauksen laminaarisuus säilyy.

Syrjäyttävä ilmanjako perustuu lämpötilan ja epäpuhtauksien kerrostumiseen. Ilmanvaihdon tavoitteena on saada aikaan hyvät olosuhteet oleskeluvyöhykkeellä. Huoneen muissa osissa voidaan sallia oleskeluvyöhykettä korkeampia lämpötila ja suurempia epäpuhtauspitoisuuksia. Syrjäyttävässä ilmanjaossa pyritään välttämään tuloilman sekoittumista huoneilmaan. Tuloilma tuodaan tällöin oleskeluvyöhykkeelle pienellä nopeudella. Ilmanjaon onnistumisen edellytyksenä on yleensä huoneilmaan nähden alilämpöinen tuloilma, jolloin se lämpötilaerosta johtuen jää oleskeluvyöhykkeelle ja lämmin huoneilma nousee ylöspäin. Tuloilmalaitteina käytetään tiheään rei'itettyjä levyjä tai huokoisella materiaalilla pinnoitettuja tuloilmalaitteita. /7, s.154./

2.3 Ilmanvaihtoa koskevat ohjeet ja määräykset

Ilmanvaihdon ja sisäilmaston rakentamista ja suunnittelua ohjaa Suomen Rakennusmääräyskokoelman osa D2. Rakentamismääräyskokoelman osa D2 asettaa rakennuksen ilmanvaihdolle ja sisäilmastolle vähimmäisvaatimukset. Nämä määräykset ja ohjeet koskevat uuden rakennuksen sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa. /3, s.3./ Rakentamismääräyskokoelman osa D2 2012 on tullut voimaan 1.7.2012.

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 lisäksi vuonna 2008 voimaan Sisäilmastoluokitus 2008 antaa sisäympäristön suunnittelulle tavoitearvot, tuotevaatimukset ja suunnitteluohjeet. Sisäilmastoluokitus 2008 korvaa vuonna 2001 voimaan tulleen Sisäilmastoluokitus 2000:n. ”Sisäilmastoluokitus 2008 on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennusteollisuuden apuna, kun tavoitteena on rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia.” /8./

Sisäilmastoluokitus 2008 on kolmiportainen sisäilmaluokkien osalta: laatuluokat ovat S1, S2 ja S3. Luokista paras on S1, tämä tarkoittaa suurinta tyytyväisten osuutta si-

säilmasto-olosuhteiden osalta. /9, s. 4./ Sisäilmastoluokkien sisäympäristön ominaisuuksia luokittain on määritelty seuraavalla tavalla /9, s. 4/:

S1: Yksilöllinen sisäilmasto

- sisäilman laatu erittäin hyvä, lämpöolot ovat hyvät
- ei ylilämpenemistä
- ei vetoa eikä häiritseviä hajuja
- tiloissa tai rakenteissa ei ole sisäilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä
- lämpöolot ovat hyvät
- käyttäjällä yksilöllinen mahdollisuus säätää lämpöoloja
- hyvät ääniolosuhteet ja valaistus säädettävissä yksilöllisesti.

S2: Hyvä sisäilmasto

- sisäilman laatu on hyvä, eikä häiritseviä hajuja
- tiloissa tai rakenteissa ei ole sisäilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä
- lämpöolot ovat hyvät, vetoa ei yleensä esiinny
- ylilämpeneminen mahdollista kesäpäivinä
- ääni- ja valaistusolosuhteet ovat tarkoituksen mukaiset.

S3: Tyydyttävä sisäilmasto

- tilan ilmanlaatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten mukaiset vähimmäisvaatimukset /9, s.4/.

Sisäilmastoluokkien lisäksi Sisäilmastoluokitus 2008:ssa määritetään puhtausluokat (P) uusille ilmanvaihtojärjestelmille ja päästöluokat (M) rakennusmateriaaleille ja ilmanvaihtotuotteille. Uuden ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokituksessa käytetään kahta puhtausluokkaa P1 ja P2. Kohteen tavoiteltava puhtausluokka valitaan jo suunnitteluvaiheessa. /9, s. 15./

Sisäilmastoluokituksen puhtausluokituksen tehtävänä on varmistaa, että uudessa ilmanvaihtojärjestelmässä virtaa puhdas ilma. Hyvälaatuisessa tuloilmassa ei saa olla epäpuhtauksia (esim. kuidut ja mikrobit), jotka ovat peräisin ilmanvaihtojärjestelmästä. Ilmanvaihtotuotteet ovat joko puhtausluokiteltuja, tai sitten eivät. Niille on siis vain

yksi puhtausluokka. ”Seuraavassa on esitetty puhtausluokitellun ilmanvaihtotuotteen yleiset vaatimukset: /9, s. 18./

- puhtausluokiteltu tuote ei saa lisätä terveyden tai viihtyisyyden kannalta haitallisia epäpuhtauksia ilmanvaihtojärjestelmässä eikä tuloilmassa.
- puhtausluokiteltu tuote ei saa tuottaa tuloilman laatua huonontavaa hajua tai kaasumaisia tai hiukkasmaisia epäpuhtauksia.
- puhtausluokitellun tuotteen tulee olla helposti puhdistettavissa.”

Näiden yleisten vaatimusten lisäksi Sisäilmastoluokitus 2008:ssa on eritelty jokaiselle ilmanvaihtojärjestelmän komponentille omat erityisvaatimukset.

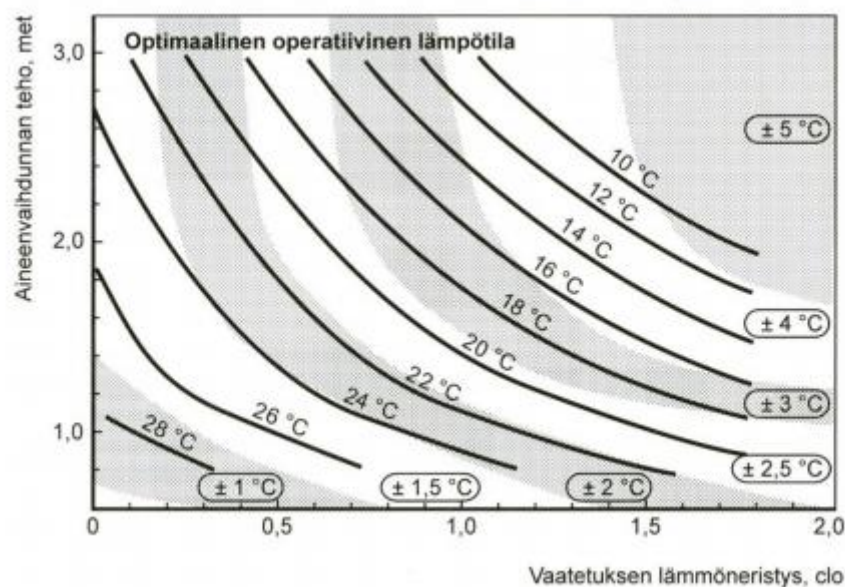
2.4 Sisäilmaston ominaisuudet ja siihen vaikuttavat tekijät

Sisäilmasto käsittää rakennuksen sisätilojen fysikaalisten sekä kemiallisten tekijöiden muodostavaa kokonaisuutta. Rakennuksen ilmastoinnin tarkoituksena on ylläpitää tiloissa hyvää, terveellistä ja tilojen käyttötarkoituksen mukaista sisäilmastoa. Sisäilmaston ymmärretään käsittävän seuraavat pääosat /7, s. 3/:

- lämpöolosuhteet
- kosteus
- ilman laatu
- säteilyolosuhteet
- sähköiset ominaisuudet
- valaistus
- melu.

Lämpötilan katsotaan olevan sisäilmaston kannalta merkittävin viihtyvyystekijä. Ihmisten kokemassa lämpöviihtyisyydessä on ihmisten yksilöllisistä mieltymyksistä ja tarpeista johtuvia eroja, mutta suurin osa ihmisistä on tyytyväisiä, kun huoneen lämpötila on 21 - 22 °C /10/. Lämpöviihtyvyydellä tarkoitetaan mielentilaa, joka ilmaisee henkilön tyytyväisyyttä tilassa vallitseviin lämpöolosuhteisiin. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että henkilö ei osaa sanoa, haluaisiko hän muuttaa ympäristöänsä lämpimämmäksi vai kylmemmäksi. /7, s. 4./

Ihmisten kokeman lämpöaistimuksen mielekkyys on yksilöllistä. Lämpöaistimuksen mielekkyyteen vaikuttaa ihmisen ikä, sukupuoli, pukeutuminen ja aktiivisuus. Optimaalämpötilalla tarkoitetaan sellaista lämpötilaa, johon suuren joukon enemmistö on tyytyväinen ja vallitsevaan lämpötilaan tyytymättömien osuus on pienimmillään. Optimaalämpötilan määrittämiseen tarvitaan tietää tilojen käyttäjien aineenvaihdunnan teho sekä vaatetuksen lämmöneristävyys. /11, s. 2-3./ Kuvassa 2 on esitetty optimaalinen operatiivinen lämpötila aineenvaihdunnan tehosta ja vaatetuksen lämmöneristävyysriippuvaisena. Kuvan arvot pätevät olosuhteissa, kun ilman suhteellinen kosteus on enintään 50 % ja ilman keskinopeus enintään 0,1 m/s. /11, s. 2./

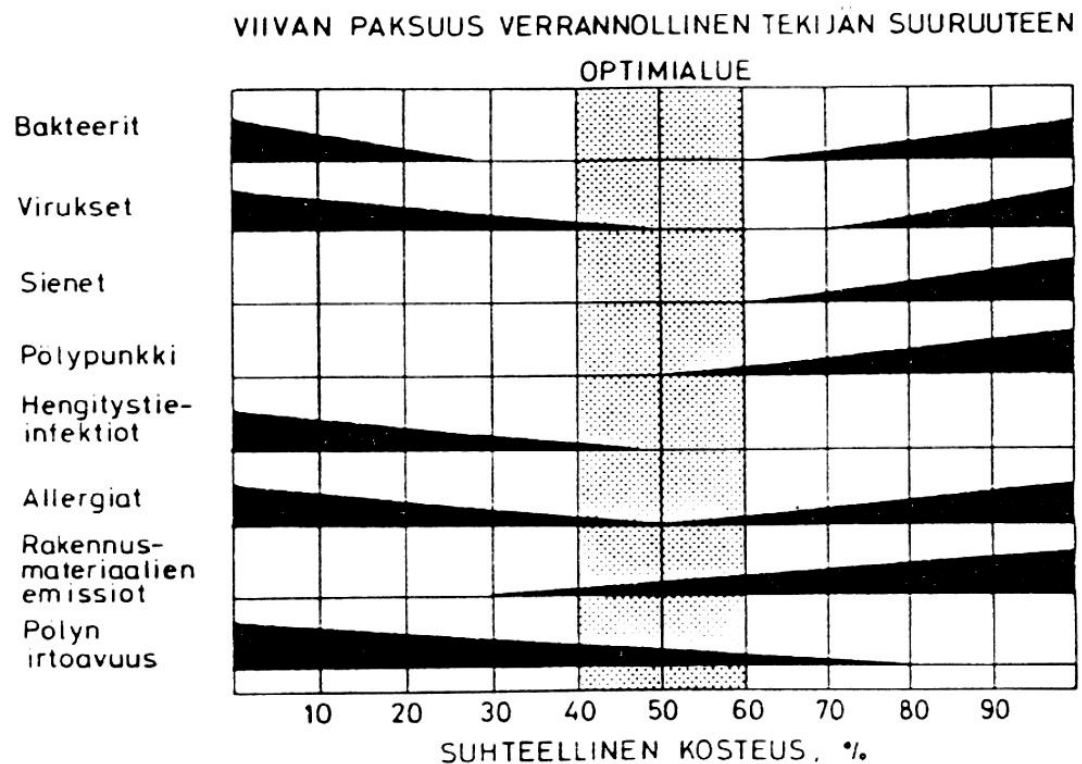


KUVA 2. Optimaalinen operatiivinen lämpötila /11, s. 2/

Aineenvaihdunnan tehon yksikkönä oleva met-arvo kuvastaa kehon tuottamaa lämpötehoa eri toimintojen aikana. $1 \text{ met} = 58.2 \text{ W/m}^2$, mikä vastaa 105 W suuruista kokonaislämpötehoa keskikokoisella miehellä (pituus 1.75 m, paino 75 kg ja ihon pinta-ala 1.8 m^2) /11, s. 3/. Esimerkiksi istumisessa ihmisen aineenvaihdunnan met on 1, ja kävellessä tasaisella maalla met on 2. Clo-arvot ovat erilaisille vaatekappaleille määrättyjä lämmöneristävyyden arvoja. Clo-arvo tavanomaisella talviaikaisella sisävaatetuksella on 1 clo. Kesänaikaisella kevyellä sisävaatetuksella lämmöneristävyys on 0.5 clo.

Sisäilman kosteuden tavoitearvot määräytyvät sen perusteella, että liian kuivassa ilmassa ihmisten kokemien hengitysteiden limakalvojen, silmien sidekalvojen ja ihon kuivumisen oireet lisääntyvät. Liian suuri ilman kosteus voi mahdollistaa mikrobikas-

vuston kehittymisen rakenteisiin ja lisätä punkkien esiintymistä. Yli 45 % suhteellisessa kosteudessa pölypunkkien kasvu lisääntyy, 70 – 80 % suhteellisessa kosteudessa kosteusolot ovat otolliset homesienten kasvustoille ja yli 90 % pidempiaikainen kosteus voi aiheuttaa rakenteissa lahoamista. Kuvassa 3 on esitettyä bakteerien ja viruksien sekä erilaisten hengitystieoireiden suhde suhteelliseen ilmakesteuteen. Kuvassa viivan paksuus kuvastaa oireiden tai epäpuhtauksien esiintymisen määrää.



KUVA 3. Epäpuhtauksien ja hengitystieoireiden esiintyminen suhteessa ilman suhteelliseen kosteuteen /12, s. 8/

Kylmä ulkoilma pystyy sitomaan huomattavasti vähemmän kosteutta kuin lämmin sisäilma. Tästä johtuen ulkoilma tuntuu talvella paljon kuivemmalta kuin kesällä, vaikka niiden suhteellinen kosteus olisikin sama. Eli ilmassa oleva veden määrä ei ole yhtä suuri. Seuraava esimerkki kuvastaa lämpötilan ja suhteellisen kosteuden merkitystä ilman vesisisältöön. /10/

Ulkoilma kesällä

- +20°C, suhteellinen kosteus RH = 80 %, ilman vesipitoisuus 14,0 g/m³

Ulkoilma talvella

- -20°C, suhteellinen kosteus RH = 80 %, ilman vesipitoisuus 0,70 g/m³

Ilman laadulle voidaan asettaa useita perusteita, jotka voivat olla peräisin tilan käyttötarkoituksesta ja siellä tapahtuvasta toiminnasta. Ilman laadun vaatimus voi olla peräisin /7, s.31/:

- tilassa oleskelevista ihmisistä
- rakenteiden asettamista vaatimuksista
- tilassa tapahtuvasta työprosessista tai laitteista.

Ihmisistä lähtöisin olevat vaatimukset koskevat yleensä ilman terveydellisyyttä ja viihtyisyyttä.. Ilmanvaihtoa suunniteltaessa on huomioitava, että terveydellisyyteen perustuva vaatimus voi olla tiukempi kuin viihtyisyyteen perustuva vaatimus. Tämä tilanne pätee usein sellaisten epäpuhtauksien suhteen joita ihminen ei voi aistia. Tällaisia ovat muun muassa radioaktiiviset aineet. Ilman epäpuhtaudet saattavat olla peräisin ulkoilmasta, rakennus- ja sisustusmateriaaleista tai tilassa tapahtuvasta toiminnasta. /7, s. 31./ Ulkoa tulevat epäpuhtaudet ovat peräisin mm. seuraavista tekijöistä /7, s. 32/:

- liikenteestä (pöly, hiilimonoksidi, typpidioksidit ja pölyn mukana kulkeutuvat raskaat metallit)
- energian tuotannosta (rikkidioksidit, pöly ja pölyn mukana kulkeutuvat raskaat metallit)
- teollisuuden, sairaaloiden ravintoloiden yms. likaisesta poistoilmasta
- saman rakennuksen poistoilma-aukoista
- luonnosta (siitepöly).

Nykyään rakennus- ja sisustusmateriaalit toimivat yhä suurempina epäpuhtauslähteinä. Niitä ovat muun muassa seuraavat /7, s. 32/:

- rakennuslevyt
- liimat, lakat ja maalit
- huonekalujen lastulevyt ja liimat
- saumausaineet
- sisustustekstiilit
- kokolattiamatot.

Sisäisistä epäpuhtauslähteistä merkittävin on ihminen itse. Ihmisestä peräisin olevia keskeisiä epäpuhtauksia ovat hengityksen mukana vapautuvat aineenvaihdunnan tuotteet (hiilidioksidi, hajut, jne.), ihosta ja vaatteista irtoavat epäpuhtaudet ja tupakoinnista lähtöisin olevat epäpuhtaudet. /7, s. 32./

Sisäilmassa esiintyvät epäpuhtaudet voidaan jakaa kahteen ryhmään koostumuksensa perusteella. Epäpuhtaudet voivat olla hiukkasmaisia epäpuhtauksia tai kaasumaisia epäpuhtauksia. Hengitettävät hiukkaset ovat kooltaan $< 10 \mu\text{m}$ ja pienhiukkaset $< 2.5 \mu\text{m}$. Sisäilmassa ja huonepölyssä on sekä orgaanisia että epäorgaanisia hiukkasia. Kuitumaisia ja epäorgaanisia hiukkasia ovat esimerkiksi mm. mineraalivillakuidut ja asbesti. Orgaanisia hiukkasmaisia epäpuhtauksia ovat mm. homeitiöt, bakteerit, virukset ja punkit. /2./ Seuraavaksi on esitelty yleisimmin sisäilmassa esiintyviä hiukkasia:

- huonepöly
- epäorgaaniset kuidut
- asbesti
- mikrobit
- allergeenit.

Sisäilmassa esiintyvät kemialliset epäpuhtaudet voivat olla peräisin rakennuksen rakenteista, ihmisistä tai jostain ihmisen toiminnasta. Valtioneuvosto on määrännyt sisäilman kemiallisille epäpuhtauksille joukon sitovia raja-arvoja työturvallisuuslakiin nojaten. Nämä raja-arvot ovat http-arvoja, eli pienimpiä arvoja, joiden voidaan katsoa voivan vahingoittaa työntekijää. /10./ Sisäilmastoluokitus 2008 asettaa sisäilmastoluokittain raja-arvot suurimmille sallituille kemiallisten epäpuhtauksien määrälle sisäilmassa. Seuraavaksi on esitelty muutamia yleisimmin sisäilmassa esiintyviä kemiallisia epäpuhtauksia:

- aldehydit
- ammoniakki
- formaldehydi
- haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC/TVOC)
- hiilidioksidi
- radon
- rikkidioksidi

- tupakan savu.

Tehokkain tapa epäpuhtauksien torjumiseen on pyrkiä poistamaan tiloista epäpuhtauksien lähde, esim. välttämällä haitallisesti epäpuhtauksia emittoivien rakennusmateriaalien käyttöä. Aina ei kuitenkaan ole mahdollista poistaa huoneesta epäpuhtauksien päästölähdettä, esimerkiksi tilanteessa, jossa tilan merkittävin päästölähde on ihminen itse. Tällöin epäpuhtauksien hallitsemiseksi käytetään muita keinoja, esimerkiksi kotelolaimalla päästölähde, käyttämällä paikallispoistoa tai laimentamalla epäpuhtaudet suurempaan ilmamäärään. Epäpuhtauksien poistoon riittää yleensä hyvin suunniteltu, oikein mitoitettu ja oikein toimiva ilmanvaihtojärjestelmä. /13./

3 LEIKKAUSSALIN ILMANVAIHDON VAATIMUKSET JA TEKNIikka

Sairaalaympäristössä tiloille asetetut hygieniavaatimukset ovat korkeammat kuin tavanomaisissa ympäristöissä. Laitoksien potilaat ovat usein heikkokuntoisia. Heikkokuntoisten potilaiden vastustuskyky on usein huonompi kuin terveiden ihmisten, ja he ovat alttiimpia sairastumaan bakteerien, virusten ja sienten aiheuttamiin kohtalokkaisiin tauteihin. Patoogeenisten bakteerien uhkaa ja leviämistä voidaan ratkaisevasti estää hyvin suunnitelluilla ja oikein toimivilla ilmastointi- lvi-laitteilla, kun taas huonosti suunnitellut, väärin asennetut ja huoltamattomat laitteet voivat levittää taudinaiheuttajia. Etenkin leikkaussaleissa pyritään kiinnittämään huomiota toiminnan aikaisien bakteerien ja muiden epäpuhtauksien poistamiseen ja hallitsemiseen. Tilaan sopivalla ilmanjaolla ja oikeanlaisella tuloilman suodatuksella niitä on pystytty vähentämään. /15, s. 8./

Tällä hetkellä Suomessa ei ole voimassa viranomaisten antamia tarkkoja määräyksiä tai ohjeita leikkaussalien ilmanvaihdon suunnittelua ja toteutusta koskien. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 annetaan taulukossa 7 kriteerit tavanomaisten sairaalatiilojen, kuten potilashuoneiden, toimenpidehuoneiden ja oleskelutilojen ilmanvaihdolle. Taulukon 7 huomautuksessa #E mainitaan, että leikkaussalien, röntgentilojen, välihuoltotilojen ja muiden erikoistilojen ilmanvaihto suunnitellaan tapauskohtaisesti /3, s. 29/. Taulukko 7 on liitteenä 1.

Jouko Ryytäsen vuonna 2007 tekemässä opinnäytetyössä ”Sairaalailmanvaihdon suunnitteluohjeita” /29/ on annettu kattavasti suuntaa-antavia ohjeita sairaalan eri tilojen ilman-

vaihdon suosituksista. Näistä ohjeistuksista tulee kuitenkin huomioida, etteivät ne ole määräyksiä tai viranomaisten vaatimuksia.

3.1 Lämpöolot

Leikkaussalin lämpöolosuhteiden tulee olla sellaiset, että ne ovat potilaan mukavuuden ja lääketieteellisten vaatimusten mukaiset. Optimaalinen lämpötila voi vaihdella suuresti hoidettavan potilaan ja tehtävän toimenpiteen mukaan. Erikoismenetelmiä vaativissa operaatioissa, kuten sydänleikkauksissa, sisäilman lämpötila voi olla tarpeellista asettaa jopa niinkin alas kuin 17 °C. Toisaalta lastenkirurgiassa on tarpeellista asettaa leikkaussalin lämpötila huomattavasti korkeammaksi, sillä lapsen keho on herkempi kylmälle kuin aikuisen keho. /16, s. 4./ Korkeamman lämpötilan tarve leikkaussalissa tulee myös huomioida vanhuskirurgiassa, sillä vanhuksilla voi olla huonontunut ääreisverenkierto, joten myös he ovat herkempiä kylmälle. Tarvittaessa leikkaussalin lämpötila voidaan asettaa vanhuskirurgiassa 27 °C:een. /17./

Leikkaussalin operatiivisen lämpötilan keskiarvona talvisaikaan voidaan pitää 22 °C, hoitotiloissa lämpötila on yleensä 1 - 2 °C korkeampi. Leikkaussalin lämpötilan tulee olla säädettävissä leikkaussalista käsin portaattomasti 19 - 27 °C välillä. /17./

Käytännössä on hyvin hankalaa valita leikkaussaliin sellaista operatiivista lämpötilaa johon kaikki leikkaussalissa olevat henkilöt ovat tyytyväisiä. Leikkaussalissa työskentelevien ihmisten aktiivisuustasot ovat hyvin erilaisia, joten heidän lämmöntuottonsa on myös hyvin vaihteleva. Tutkimuksissa on todettu, että kirurgit pitävät leikkaussalin lämpötilaa yleensä hieman lämpimänä tai lämpimänä, heidän on myös todettu hikoavan leikkauksen aikana. Anestesiahenkilökunta ja hoitohenkilöt pitivät taas lämpötilaa yleensä hieman viileänä tai viileänä. Erityisesti tämä kävi ilmi, kun leikkaussalin lämpötila oli alle 21 °C. Tutkimuksien mukaan anestesiahenkilökunnan mielestä sopiva leikkaussalin lämpötila oli 23 - 24 °C. Hoitohenkilökunta piti sopivana lämpötilana 22 - 24,5 °C, ja kirurgien mielestä sopiva lämpötila leikkaussalissa oli 18-19 °C. /16, s. 4./

Kappaleessa 2.4 esitetystä kuvasta 2 voidaan hyvin todeta ihmisen aktiivisuuden ja pukeutumisen merkitys optimaalisen operatiivisen lämpötilan määrittämisessä. Esimerkiksi, oletetaan kirurgin ja anestesiahoitajan leikkauksen aikaisen vaatetuksen olevan

lämmöneristävyydeltään samaa tasoa 1 clo. Kirurgi joutuu leikkauksen aikana työskentelemään huomattavasti aktiivisemmin kuin anestesiahoitaja. Anestesiahoitajan aktiivisuustasoa voisi kuvastaa aineenvaihdunnan teho 1,2 met. Kirurgin aineenvaihdunnan teho on esimerkiksi 2 met. Tällöin optimaalinen operatiivinen lämpötila anestesiahoitajalle on kuvan 2 perusteella noin 22 °C ja kirurgille noin 18 °C.

3.2 Kosteus

Leikkaussalin ilman kosteudesta tulee huolehtia tarkkaan, sillä ilman kosteudella on merkittävä vaikutus tilan hygieniaan sekä lämpöviihtyvyystekijöihin. Leikkaussalin sisäilman suhteellisen kosteuden tulee olla 30 – 60 %. /16, s. 4./ Tuloilman käsittelyn (kostuttamisen tai kuivaamisen) tarve määräytyy ulkoilman lämpötilan ja kosteussisällön perusteella. Talvella pakkasilman suhteellinen kosteus voi olla hyvinkin korkea mutta vesisisältö todella vähäinen, jolloin tuloilmaa joudutaan kostuttamaan. Kuumana kesäpäivänä ilman suhteellinen kosteus saattaa nousta jopa 80 %, tällöin tuloilmaa on kuivattava. Liian kuiva sisäilma ilmenee yleensä lisääntyneinä silmien ja limakalvojen kuivumisena sekä muina hengitystieoireina. Liian kostea sisäilma koetaan taas usein tunkkaisena.

Leikkaussalin sisäilman kosteudella on myös merkitystä sisäilmassa havaittavien epäpuhtauksien ja sisäilmaoireiden kannalta. Kappaleessa 2.4 esitetystä kuvasta 3 voidaan todeta, että epäpuhtauksien ja sisäilmaoireiden esiintyvyys on matalimmillaan suositellun 30 – 60 % suhteellisen sisäilman kosteuden alueella. Liian korkea suhteellinen kosteus voi aiheuttaa kosteuden kondensoitumista ilmanvaihtokanaviin, suodattimiin ja muihin komponentteihin. Kondensoitunut kosteus mahdollistaa mikrobikasvuston syntymisen, ja mikrobit leviävät ilmanvaihdon kautta tehokkaasti sisäilmaan. Järjestelmän oikeanlaisella huollolla ja puhdistuksella voidaan vähentää merkittävästi kosteudesta aiheutuvia riskejä. /16, s. 4./

3.3 Epäpuhtaudet

Leikkauksessa aikana aiheutuvan infektion aiheuttaja on usein leikkaushaavaan pääsyt epäpuhtaus. Epäpuhtaus voi olla peräisin potilaasta tai ympäristöstä. Nykyisin käytetyt tehokkaat HEPA-suodattimet suodattava tuloilmasta tehokkaasti epäpuhtauksia, joten suurin osa leikkaussalin ilman epäpuhtauksista on peräisin siellä olevista henki-

löistä. Ihmisistä emittoituvien epäpuhtauksien määrään vaikuttaa suuresti ihmisten aktiivisuus sekä leikkauksessa käytetty vaatetus. /19, s. 4./

Ainoastaan osa ilman sisältämistä epäpuhtauksista voi aiheuttaa infektion. Infektioita aiheuttavia pieneliöitä kutsutaan mikrobeiksi. Mikrobeja ovat muun muassa bakteerit ja virukset. Niiden koko vaihtelee 0,01..5,0 µm välillä. Mikrobit voivat kulkeutua ilmassa suurempiin hiukkasiin sitoutuneena tai erillisinä yksiköinä. Yhteisnimitys näille on pesäkkeen muodostava yksikkö CFU (colony forming unit). /19, s. 4./ Luonnosvaiheessa oleva leikkaussalien ilmanvaihdon standardi CEN-TC156-WG18 määrittää pesäkkeen muodostavien yksiköiden esiintymiselle maksimiarvot. Taulukossa 2 on esitetty standardiluonnoksen määrittämät raja-arvot Operational-tilassa. Operational-tila tarkoittaa, että leikkaussalin ilmanvaihto on leikkaustilassa ja leikkaussalissa on henkilömäärä, joka vastaa oikeaa leikkaustilannetta. Standardiluonnos jakaa leikkaussalit kahteen luokkaan ilmanpuhtauden osalta. Luokat ovat Ultra Clean Air ja Clean Air luokat. Ultra Clean Air saleissa edellytetään korkeaa hygieniää ja Clean Air saleissa normaalia hygieniää.

TAULUKKO 2. CEN-TC156-WG18-standardiluonnoksen määrittämät CFU-pitoisuuden raja-arvot operational tilassa (cfu/m³) /26, s. 10/

	Operational	
	Critical zone	Periphery area
Ultra clean air	<10	<10
Clean air	<100	<100

Leikkaussalin ilman mikrobiologista puhtautta voidaan myös tarkastella At Rest-tilassa. At Rest-tila tarkoittaa, että leikkaussalin ilmanvaihto vastaa leikkauksen aikaista tilannetta, mutta leikkaussalissa ei ole henkilökuntaa. At Rest-tilassa mikrobiologisen puhtauden vaatimukset on eritelty leikkaussalin hygieniatason, sekä ilmanjakotavan mukaan. Ilmanjakotapoja ovat Protected zone system eli laminaarinen ilmanjako, sekä Dilution mixing system eli sekoittava ilmanjako. Taulukossa 3 on esitetty At Rest-tilan mikrobiologisen puhtauden vaatimukset.

TAULUKKO 3. CEN-TC156-WG18-standardiluonnoksen määrittämät CFU-pitoisuuden raja-arvot At Rest-tilassa (cfu/m³) /26, s. 10-11/

	At Rest	
	Protected zone	Periphery area
Protected zone system, Ultra clean air	<1	<1
Protected zone system, Clean air	<10	<10
Dilution mixing system, Ultra clean air	<1	
Dilution mixing system, Clean air	<10	

Leikkaussalit voidaan tulkita puhdastiloiksi. Puhdastilojen ja niitä ympäröivien tilojen ilman ja pintojen puhtauden tasoa tulee valvoa siten, että ne vastaavat puhtaudeltaan tilassa tapahtuvan toiminnan puhtaustasovaatimuksia /18, s. 1/. Standardiluonnos CEN-TC156-WG 18 määrittää ilmanjakotavan perusteella leikkaussalin eri alueille suurimman sallitun hiukkaspitoisuuden. Hiukkaspitoisuuden määrittäminen perustuu standardin SFS-EN ISO 14644-1 ISO-luokitukseen. Ultra Clean Air -luokan sekoittavalla ilmanjaolla toteutetuissa saleissa koko leikkaussalin vaatimuksena on ISO 5 luokka. Laminaarisella ilmanjaolla toteutetuissa saleissa laminaarisen ilmavirran alueella, eli protected zonella vaatimuksena on ISO 5 luokka ja leikkaussalin reuna-alueella, eli periphery arealla ISO 6 luokka. Clean Air -luokan saleissa molemmilla ilmanjakotavoilla koko salissa on vaatimuksena ISO 7 luokka.

Standardissa SFS-EN ISO 14644-1: 2015 määritetään luokitus puhdastilojen ilmalle hiukkaspitoisuuden ja hiukkasten koon mukaan. Ilman hiukkaspitoisuus voidaan määrittää laskennallisesti kaavan 3 /18, s. 39/ mukaan.

ISO-luokituksen mukaisen hiukkaspitoisuuden C_n määrittäminen:

$$C_n = 10^N \times \left(\frac{K}{D}\right)^{2,08} \quad (3)$$

jossa

- C_n on ilman suurin sallittu hiukkaspitoisuus (kp/m^3), hiukkasia jotka ovat saman kokoisia tai suurempia kuin tarkasteltava hiukkaskoko. Hiukkaspitoisuus C_n pyöristetään aina lähimpään kokonaislukuun enintään kolmen merkitsevän luvun tarkkuudella.
- N on ISO-luokituksen numero. Arvo ei saa olla < 1 tai, ≥ 9 .
- D on tarkasteltava hiukkaskoko mikrometreinä.
- K on vakio 0,1, yksikkönä mikrometri.

Taulukossa 4 on esitettyä ISO-luokkien hiukkaspitoisuudet tarkasteltavien hiukkasten koon mukaan jaoteltuna.

TAULUKKO 4. Hiukkaspitoisuusrajat ISO-puhtausluokille /18, s. 10/

ISO Class number (N)	Maximum allowable concentrations (particles/ m^3) for particles equal to and greater than the considered sizes, shown below ^a					
	0,1 μm	0,2 μm	0,3 μm	0,5 μm	1 μm	5 μm
1	10^b	d	d	d	d	e
2	100	24^b	10^b	d	d	e
3	1 000	237	102	35^b	d	e
4	10 000	2 370	1 020	352	83^b	e
5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	d, e, f
6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
7	c	c	c	352 000	83 200	2 930
8	c	c	c	3 520 000	832 000	29 300
9 ^g	c	c	c	35 200 000	8 320 000	293 000

^a All concentrations in the table are cumulative, e.g. for ISO Class 5, the 10 200 particles shown at 0,3 μm include all particles equal to and greater than this size.

^b These concentrations will lead to large air sample volumes for classification. Sequential sampling procedure may be applied: see [Annex D](#).

^c Concentration limits are not applicable in this region of the table due to very high particle concentration.

^d Sampling and statistical limitations for particles in low concentrations make classification inappropriate.

^e Sample collection limitations for both particles in low concentrations and sizes greater than 1 μm make classification at this particle size inappropriate, due to potential particle losses in the sampling system.

^f In order to specify this particle size in association with ISO Class 5, the macroparticle descriptor M may be adapted and used in conjunction with at least one other particle size. (See [C.7](#))

^g This class is only applicable for the in-operation state.

Jotta leikkaussalin CFU- ja hiukkaspitoisuus pysyy halutulla tasolla, on tärkeää huolehtia siitä, ettei leikkaussaliin virtaa likaista ilmaa sitä ympäröivistä tiloista. Näin ollen leikkaussalin tulee olla koko ajan hieman ylipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.

3.4 Painesuhteet ja tiiveys

Puhdastilat ja puhtaat alueet voivat käsittää useita erillisiä huoneita, tilojen puhtaudenhallinnassa ja puhtaustasojen vaatimuksissa voi olla merkittäviä eroja. Jotta puh-

dastilan haluttua puhtaustasoa voidaan pitää yllä, täytyy sen olla ylipaineinen ympäröiviin vähemmän puhtaisiin tiloihin nähden. Näin vältetään haitallisten hiukkasten kulkeutumiselta vähemmän puhtaista tiloista. Eri puhtausluokkiin luokiteltujen viereisten puhtaiden alueiden, puhtaiden vyöhykkeiden ja puhdastilojen välinen paine-ero tulisi olla 5 Pa...20 Pa, jotta puhdastilojen välisiä ovia voidaan avata ilman tahattomien ilmapyörteiden kulkeutumista eri vyöhykkeiden välillä. /20, s. 34./

Sairaalan tiloja käsiteltäessä eri puhtausluokkien välisistä ilmavirtauksista huolehtiminen on erityisen tärkeää leikkausosastoilla. Leikkausosasto käsittää leikkaussalien lisäksi leikkauksien valmisteluhuoneet, osaston käytävät, henkilökunnan sosiaalityilat sekä ilmasulut. /21, s. 9./ Tuomas Attila viittaa opinnäytetyössään standardin CEN-TC 156-WG-18-N56 luonnokseen, jossa käsitellään painesuhteita ja niiden merkitystä leikkausosastoilla. Leikkausosaston ilmanvaihtoa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon tilojen väliset painesuhteet ja niistä aiheutuvat ilmavirrat tilojen välillä. Painesuhteiden tulee olla sellaiset, että tilat, joissa on korkean infektioriskin potilaita ja korkeammat hygieniavaatimukset, on suunniteltava ylipaineisiksi matalamman hygieniavaatimuksen tiloihin nähden. Kun tilojen painesuhteet toteutetaan näin, saadaan ilmavirrat automaattisesti kulkeutumaan puhtaimmista tiloista likaisempiin tiloihin, eikä likaisempien tilojen ilman epäpuhtaudet pääse aiheuttamaan kontaminaatiota puhtaisiin tiloihin. Lopuksi ilmavirrat ohjataan painesuhteiden hallinnan avulla leikkausosastoilta kohti sairaalan yleisiä tiloja. /22, s. 50 - 51./

Leikkaussalin korkean ilmanlaadun ylläpitämiseksi on myös tärkeää, että leikkaussalin ulkovaipan rakenne on riittävän tiivis. Leikkaussalille riittävänä tiiviytensä pidetään vuotoilmavirtaa, joka on 0,4 l/s,m² tilanteessa, jossa vallitsee 50 Pa paine-ero ympäröiviin tiloihin nähden /12, s.14/.

3.5 Ilman suodatus

Ilmanvaihtojärjestelmän suodattimet jaetaan neljään eri suodatintyyppiin suodattimien erotusasteen mukaan. Suodatintyypit ovat seuraavat /23, s. 5/:

- Karkeasuodattimet (G)
- Keskitason suodattimet (M)
- Hienosuodattimet (F)

- Korkean suodatusasteen suodattimet (EPA, HEPA ja ULPA).

Karkeasuodattimia käytetään yleisesti korvausilmaventtiilien suodattimina sekä ilmanvaihtokoneissa esisuodattimina ennen varsinaista ilmansuodatusta. Karkeasuodattimilla on korkea pölynsitomiskyky ja ne poistavat ilmasta kooltaan kaikkein suurimmat epäpuhtaushiukkaset. Hienosuodattimet ovat ilmanvaihtojärjestelmän pääasialliset suodattimet. Hienosuodattimia käytetään sekä tulo- että poistoilmansuodattimina. Taulukossa 5 on esitettyä karkea- ja hienosuodattimien eri suodatinluokkien suodatuskyky.

TAULUKKO 5. Suodatinluokkien G, M ja F luokittelu erotusasteen perusteella
/24/

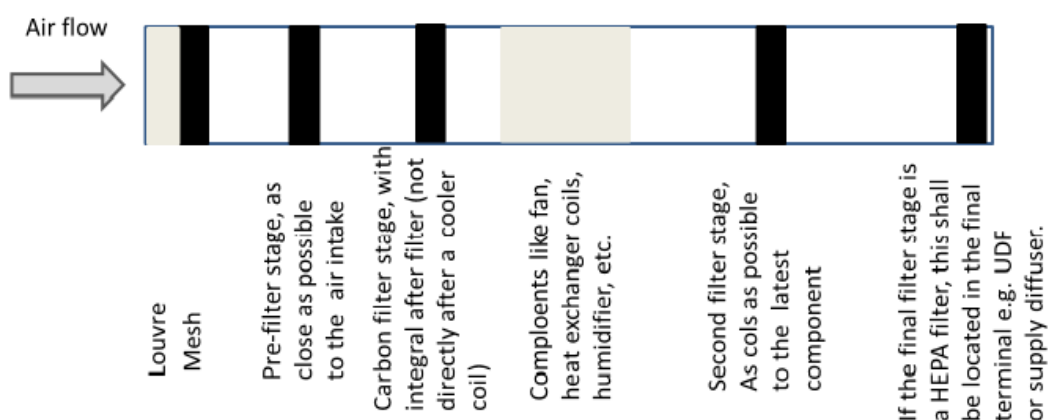
Luokka	Synteettisen pölyn keskim. erotuskyky (A_m) %	Keskimääräinen erotusaste (E_m) 0,4 μm :n hiukkasille %	Minimi-erotusaste-vaatimus ²⁾ 0,4 μm :n hiukkasille %
G1	$50 \leq A_m < 65$	-	-
G2	$65 \leq A_m < 80$	-	-
G3	$80 \leq A_m < 90$	-	-
G4	$90 \leq A_m$	-	-
M5	-	$40 \leq E_m < 60$	-
M6	-	$60 \leq E_m < 80$	-
F7	-	$80 \leq E_m < 90$	35
F8	-	$90 \leq E_m < 95$	55
F9	-	$95 \leq E_m$	70

Korkean suodatusasteen suodattimien EPA (Efficiency Particulate Air Filters), HEPA (High Efficiency Particulate Air Filters) ja ULPA (Ultra Low Penetration Air Filters) luokitus perustuu standardiin EN 1822:2009. Luokituksen lähtökohtana on suodattimen kyky erotella ilmapirrasta läpäisevin hiukkaskoko MPPS (Most Penetrating Particle Size). Taulukossa 6 on esitettyä korkean suodatusasteen suodattimien luokitus.
/24./

TAULUKKO 6. Korkean suodatusasteen suodattimien erottelukyky EN 1822 standardin mukaisesti /24/

Luokka	Erotusaste %	Läpäisy %
E10	85	15
E11	95	5
E12	99,5	0,5
H13	99,95	0,05
H14	99,995	0,005
U15	99,9995	0,0005
U16	99,99995	0,00005
U17	99,999995	0,000005

Leikkaussalien ilmanvaihdossa tulee käyttää kolmivaiheista tuloilman-suodatusta. Ensimmäinen vaihe on ilman esisuodatus. Esisuodatuksen tulee sijaita mahdollisimman lähellä ulkoilma-sisäänottoa. Toisen vaiheen suodatus tulee sijaita heti ilmankäsittelykoneen eri komponenttien, kuten puhaltimen ja lämmöntalteenoton jälkeen. Tarvittaessa ilmankäsittelykoneeseen lisätään aktiivihiilisuodattimet, jotka poistavat ilmasta hajut ja pienet määrät kaasumaisia epäpuhtauksia. Suodatuksen viimeinen vaihe on HEPA-suodatus. HEPA-suodattimien tulee sijaita laminaarikatossa tai sekoittavan ilmanvaihtojärjestelmän pääte-elimissä. /21, s. 10./ Kuvassa 4 on CEN-TC156-WG18-standardiluonnoksen mukainen ilmanvaihdon suodatuksen järjestelmä.



KUVA 4. Kolmivaiheinen tuloilman-suodatus /21, s. 10/

3.6 Ilmanvaihto ja ilmanjakotavat

Tärkein tehtävä leikkaussalin ilmanvaihdolle on vähentää ihmisistä ja muista epäpuhtauslähteistä erkaantuvien mikrobien aiheuttamaa riskiä potilaalle ja poistaa ilmaan mahdollisesti päässet anestesiakaasut. Leikkaussaliin johdetun tuloilman tulee olla hyvin suodatettua ja puhdasta, sekä ilmanvaihtojärjestelmän tulee pystyä säätämään ja valvomaan leikkaussalin lämpötila- ja kosteusolosuhteita. Leikkaussalin painesuhteet ympäröiviin tiloihin nähden tulisi olla säädettävissä tarpeen mukaan. /14, s. 35./

Leikkausosaston ilmastointijärjestelmä on taloudellisinta toteuttaa siten, että yhtä leikkaussalia ja sen aputiloja palvelee oma ilmastointijärjestelmä. Leikkaussalit ovat yleensä eri aikaan käytössä, joten keskitetyn ilmastointijärjestelmän käytöstä aiheutuu turhia kustannuksia. Leikkaussalikohtaisen ilmastointijärjestelmän käyttöä puoltaa myös se, että näin jokaiseen leikkaussaliin saadaan yksilölliset sisäilmasto-olosuhteet ja olosuhteita voidaan säätää salin kuormituksen mukaan. /14, s. 37./ Mikäli leikkaussalissa kierrätetään pienikin osa poistoilmaa, edellyttää standardiluonnos CEN-TC156-WG18 leikkaussalikohtaista ilmanvaihtokonetta. Poistoilma ei saa kierrättää leikkaussalien eri välillä. /21, s. 18/.

Sairaalailmanvaihdon standardiluonnoksen CEN-TC156-WG18 mukaan leikkaussalin ulkoilman määrän tulee olla vähintään $275 \text{ dm}^3/\text{s}$. Tällöin varmistetaan riittävä tehokkuus leikkauksen aikana vapautuvien anestesiakaasujen poistolle. /31/.

Leikkaussalien ilmanjakotavat jaetaan karkeasti kahteen erilaiseen järjestelmään, järjestelmät ovat sekoittava ilmanjako ja laminaarinen ilmanjako. Sekoittava ilmanjako perustuu ilman epäpuhtauksien laimentamiseen, ja laminaarinen ilmanjako perustuu epäpuhtaan ilman syrjäyttämiseen. Nykyisin on myös yleistä, että leikkaussalien ilma-jaossa käytetään molempia ilmanjakotapoja yhdistävää yhdistelmä ilmanjakoa. /14, s. 39./

3.6.1 Sekoittava ilmanjako

Sekoittavassa ilma-jaossa pyritään pitämään yllä haluttua ilman puhtaustasoa laimentamalla epäpuhtauksia tuloilmaan. Sekoittavan ilma-jaon ideaalitalanne on, kun tarkasteltavan tilan kaikissa kohdissa vallitsee sama mikrobipitoisuus. Sekoittavassa il-

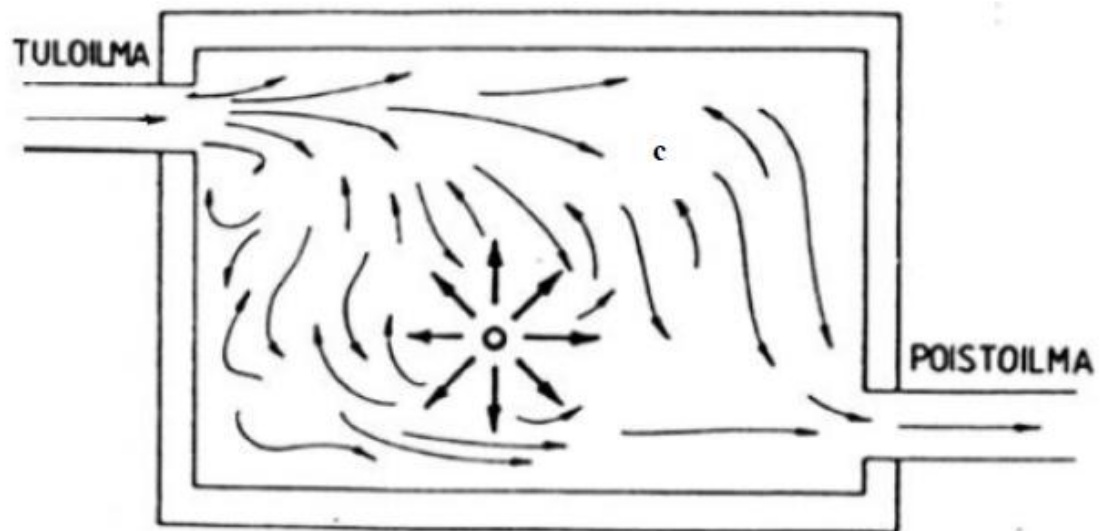
manjaossa ilman mikrobipitoisuus riippuu ainoastaan tuloilmavirran suuruudesta ja epäpuhtauslähteiden voimakkuuksista. Sekoittavan ilmanjaon mikrobipitoisuus voidaan esittää kaavalla 4 /14, s. 39/:

$$M_s = E/V_t \quad (4)$$

jossa,

M_s	on mikrobipitoisuus (CFU/m ³)
E	on epäpuhtauslähteen voimakkuus (CFU/h)
V_t	on tuloilmavirta (m ³ /h)

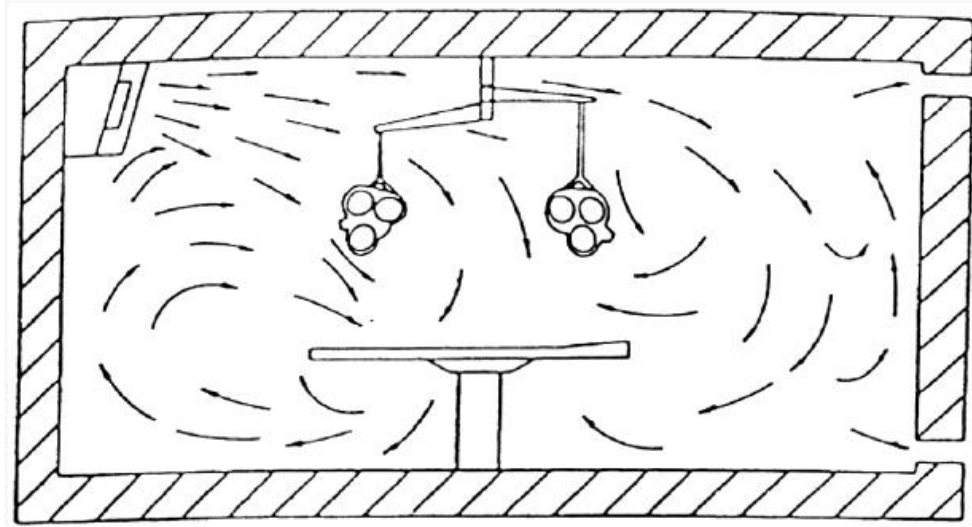
Oikein toimivassa sekoittavassa ilmanjaossa ilman mikrobipitoisuus (M_s) pienenee lineaarisesti epäpuhtauslähteen voimakkuuden pienentyessä ja tuloilmavirran kasvaessa. /14, s. 39/. Kuvassa 5 on esitetty tilan mikrobipitoisuus ideaalisen sekoittumisen tilanteessa.



KUVA 5. Mikrobipitoisuus ideaalisen sekoittumisen tilanteessa /14, s. 39/

Suomessa käytetyissä sekoittavan ilmanajon järjestelmissä tuloilma tuodaan leikkaussaliin joko katon rajasta tai leikkauspöydän yläpuolelta. Poistoilma poistetaan seinien ala- ja yläosassa olevien poistoilmasäleikköjen kautta. Kuvassa 6 on esimerkki järjestelmästä, jossa tuloilma tuodaan leikkaussaliin katon rajasta. Sekoittavan ilmanjaon järjestelmillä päästään lähelle ideaalisen sekoittumisen tilannetta. /14, s. 40./ Suomessa on vielä tällä hetkellä paljon käytössä saleja, joissa tuloilma tuodaan leikkaussaliin katon rajasta. Uusia leikkaussaleja ei juurikaan enää suunnitella kyseisellä tavalla,

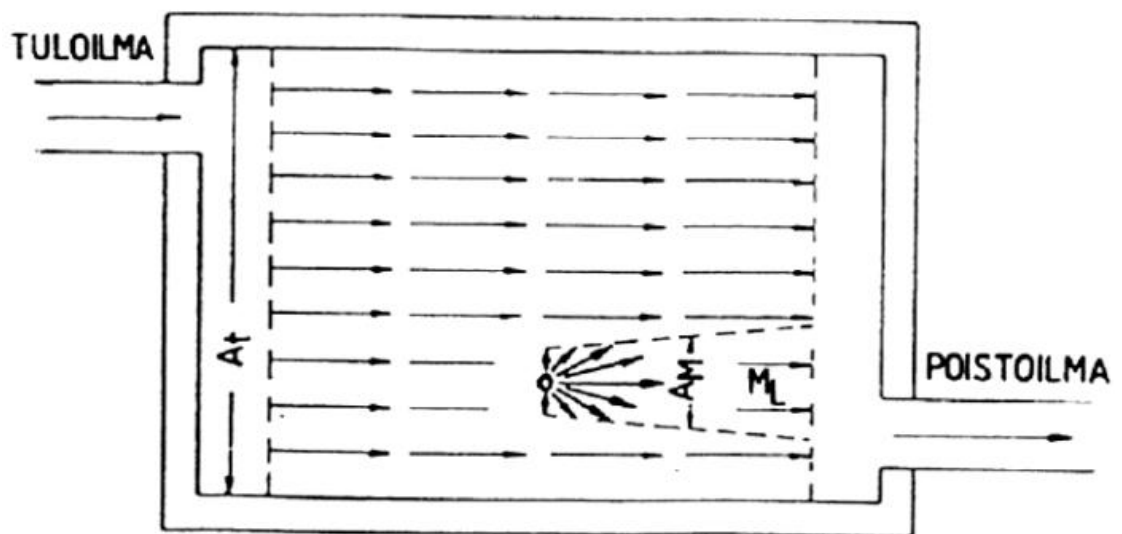
sillä ilmanjako leikkauspöydän yläpuolelta on todettu selkeästi paremmaksi ilmanjako-
koratkaisuksi. /31/.



KUVA 6. Sekoittava ilmanjako, jossa tuloilma tuodaan katon rajasta /14, s. 40/

3.6.2 Laminaarinen ilmanjako

Laminaarisessa ilmanjaossa tilan puhtaus perustuu mäntävirtauksella aikaan saatavaan ilman syrjäytykseen. Mikrobeja esiintyy ainoastaan alueella, jonka epäpuhtauslähteenstä irtoavat hiukkaset muodostavat. Virtaussuunnassa alue on epäpuhtauslähteen jälkeen (kuva 7). /14, s. 41./



KUVA 7. Mikrobipitoisuus ideaalisen syrjäytyksen tilanteessa /14, s. 42/

Laminaarisen ilmanvaihdon mikrobipitoisuus M_L ideaalisen syrjäytyksen tilanteessa voidaan määrittää kaavalla 5 /14, s. 41/:

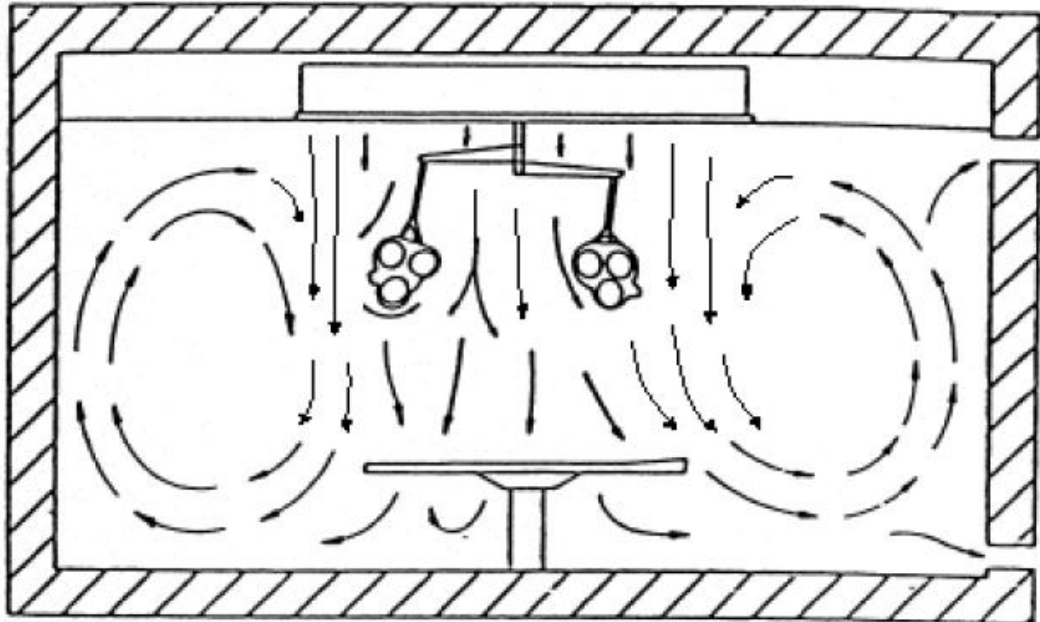
$$M_L = \frac{A_t}{A_M} \times \frac{E}{V_t} \quad (5)$$

jossa,

A_t	on tilan poikkipinta-ala (m^2)
A_M	on mikrobialueen poikkipinta-ala
E	on epäpuhtauslähteen voimakkuus (CFU/h)
V_t	on tuloilmavirta (m^3)

3.6.3 Yhdistelmäilmanjako

Uudemmissa leikkaussaleissa on myös käytössä laminaarista ja sekoittavaa ilmanjakoa yhdistäviä ilmajakoratkaisuja. Niissä tuloilmavirta tuodaan leikkaussaliin leikkauspöydän yläpuolelta laminaarisella ilmasuihkulla. Poistoilma poistetaan leikkaussalin seinien ylä- ja alaosissa sijaitsevista poistoilmaritilöistä. /14, s. 43./ Kuvassa 8 on esitetty yhdistelmäilmanjaon periaate.



KUVA 8. Yhdistelmäilmanjako /14, s. 43/

Tuloilmasuihkun on katettava tarpeeksi suuri alue. Lisäksi tuloilman tulee olla hyvin suodatettua, koska se puhalletaan suoraan leikkausalueelle ja yli n. 1µm:n kokoiset hiukkaset leikkaushaavassa voivat olla haitallisia. /14, s. 43./

3.7 CEN-TC156-WG18-standardi

CEN-TC156-WG18 on tällä hetkellä luonnosvaiheessa oleva CEN-tason standardi (European Committee for Standardization). CEN-TC 156 -standardityöryhmän 18 tavoitteena on saada aikaiseksi kokoelma standardeja, jotka kattavat kaikki osa-alueet sairaalailmanvaihdoissa. Tämän standardikokoelman standardeja voidaan soveltaa kaikkiin tiloihin, joissa terveydenhuoltopalveluja tarjotaan. Tilat voivat olla sairaaloita, klinikoita tai muita terveydenhuoltotiloja. /21, s. 3./

Standardin luonnos käsittää tällä hetkellä kaksi osaa, osat ovat seuraavat:

- Osa 1 – Yleiset vaatimukset
- Osa 2 – Leikkaussalin ilmanvaihto.

Standardia tullaan täydentämään myöhemmin muita sairaalan erikoistiloja koskevilla vaatimuksilla. Nämä osat ovat:

- Osa 3 – Eristystilat
- Osa 4 – Sterilointitilat
- Osa 5 – Toimenpidetilat.

Standardi kuvaa kaikki tarvittavat käyttäjien vaatimusmäärittelyt (URS), toiminnan suunnittelun vaatimukset (FD) ja komponenttien yksityiskohtaisen suunnittelun vaatimukset (DD) ilmankäsittelyprosesseille, jotka suunnitellaan, asennetaan tai ovat käytössä ja huolletaan terveydenhuollon tiloissa. Standardin määrittämät neljä tärkeintä hygienian hallinnan perustetta ovat /21, s. 3/:

- suojata potilaita, henkilökuntaa ja vierailijoita haitallisilta taudinaiheuttajilta
- vähentää mikro-organismien kasvua (puhtaanapito, esteettömyys, märät pinnat, hiukkasten kertyminen)

- kontrolloida ilmavirtojen suuntaa (järjestelmän ja rakenteiden tiiveys, paine-erot)
- ilmanlaatu (puhtaustasot, lämpötila, kosteus, ilman määrä).

Jotta voidaan varmistua, että terveydenhuollon palveluita tarjoavaan kohteeseen toteutettava ilmanvaihtojärjestelmä luo oikeanlaisen ja potilasturvallisen sisäilmaston, joka on spesifioitu, suunniteltu, rakennettu, varmistettu, validoitu ja huollettu oikein, suosittelee standardi käyttämään projektissa neljävaiheista menettelytapaa. /21, s.15/. Vaiheiden sisältö on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Yksityiskohtaisen suunnittelun, rakentamisen ja toiminnan prosessi /21, s. 15/

Project phase	Project Step	Objective
Design phase (I)	0. Analysis	Determination of actual condition Establishing the basis
	1. Definition of project targets	Structured document with the needs of the client: User requirements specification (URS)
	2. Functional design	Translation of user requirements specification into functional design (FD)
	3. Detailed design	Translation of the user requirements specification and functional design (FD) into the detailed design (DD)
	4. Design qualification	Verification that the functional and detailed design meet the URS
Construction (II) and	5. Realisation	Build the system, clean the system and adjust the system according to the URS, FD and DD. Documentation of the system e.g. certificates, system settings, component list, user manual, maintenance plan.
Qualification (III) phase	6. IQ, 7. OQ, 8. PQ	To ensure that the system meets detailed design (DD), the functional design (FD) and the user requirement specification (URS)
Operation and maintenance phase (IV)	9. Operation	Maintenance management Documentation Updating and supplementing of system Training of personnel
	11. Requalification	Requalification Optimisation of operation

3.7.1 Ilmanvaihtojärjestelmä

Terveydenhuollon kohteissa ilmanvaihto on merkittävä energian kuluttaja suurten ilmamäärien ja ilman käsittelytarpeen takia. Ilmanvaihtojärjestelmän energian kulutuksen vähentämiseksi painehäviöt lämmönsiirtimissä, suodattimissa, kanavistossa ja

järjestelmän muissa komponenteissa tulee suunnitella mahdollisimman mataliksi, kuitenkin ilman sitä riskiä, että järjestelmän toiminta vaarantuu. Painehäviöiden ja ilmavirtojen äänentuoton takia liian suuria ilman nopeuksia tulee myös välttää. Tilojen käytön mukaista ilmanvaihdon ohjausta tulisi käyttää mahdollisimman paljon, mikäli rakennuksen elinkaaren kustannusarvion perusteella sen voidaan osoittaa olevan kustannustehokkain ratkaisu. /25, s. 18; 33./

Säännöllistä tarkastusta varten ilmastointikone tulee varustaa huoltoluukuilla sekä ikkunallisilla tarkastusluukuilla. Ikkunalliset luukut tulee sijoittaa ilmastointikoneen tärkeimpien komponenttien kohdalle, jotta komponenttien toimita voidaan tarvittaessa varmistaa pysäyttämättä ilmastointikoneita tai avaamatta huoltoluukkuja. Ikkunallisten luukkujen minimi läpimitta on 150 mm. Ikkunalliset luukut tulee asentaa seuraavien komponenttien molemmin puolin /25, s. 21/:

- Suodattimet, ei kuitenkaan HEPA-suodattimet päätelaitteissa
- Jäähdytyspatterit
- Ilman kostuttimet.

Ilmastointikone tulee varustaa sisäisillä valaisimilla. Valaisimien kotelointiluokka tulee olla vähintään IP55-luokkaa. Valaistuksen tulee olla riittävä koneen tarkastusta ja siinä tehtäviä huoltotöitä varten. /25, s. 21./

Suodattimilla on merkittävä rooli terveydenhuollon tilojen ilmanvaihtojärjestelmän saastumisen ehkäisemisessä, mikro-organismien leviämisen ehkäisemisessä ja tuloilman laadun ylläpitämisessä. Standardin EN-13779 mukaan tuloilman suodatuksen tulee olla kaksivaiheinen kaikissa terveydenhuoltopalvelujen tiloissa. Mikäli tila vaatii erityistä puhtautta, lisätään vielä HEPA-suodatus. Poistoilmasuodatus voi olla yksivaiheinen, tällöin suodattimen suodatusluokan tulee olla vähintään M5. Ilmansuodattimien tulee kestää mekaanista rasitusta kaikissa ilmastointikoneen käyttötiloissa. Asennetuista suodattimista ei saa sisältää mitään aineita, jotka voisivat irrota ilmavirtaan. Käytettyjen suodattimien materiaalin tulee olla sellaista, ettei se tarjoa kasvualustaa mikrobeille. Kaikkien käytettyjen suodattimien tulee vastata standardin EN 1822 vaatimuksia. /25, s. 34./

Ilmankostuttimet ja kostutin kammiot tulee valmistaa materiaaleista, jotka kestävät pitkäaikaista altistusta kosteudelle ja ovat korroosion kestäviä. Kostuttimet tulee varustaa viemäroidyllä tippa-altaalla. Hygieniasyistä kostuttimien komponentit tulee olla helposti huollettavissa ja tarkastettavissa. Kostutusveden kierrätystä käyttäviä kostuttimia ei tule käyttää. Kierrätetty vesi lisää riskiä sen saastumiselle (mm. legionella bakteeri) tarjoaa alustan mikro-organismien kasvulle. Tuloilman suhteellisen kosteuden lisäämistä staattisten sähköpurkausten ehkäisemiseksi ei suositella. /25, s. 32-33./ Ilmanvaihtokanavisto tulee varustaa tarkastusluukuilla standardin EN 12097 ohjeiden mukaan. Tarkastusluukkujen välimatka tulo- sekä poistokanavistossa tulee pitää mahdollisimman lyhyenä hygieniasyistä. /25, s. 21./

Puhdistuksen ja huoltotoimenpiteiden helpottamiksi kaikki kanaviston komponentit tulee olla mekaanista kulutusta kestäviä, biohajoamattomia eivätkä ne saa tarjota suotuisia olosuhteita mikro-organismien kasvulle. Seinien läpi menevien kanavien läpiviennit tulee tiivistää siten, että ne vastaavat tiiveydelle asetettuja vaatimuksia. Kanaviston tulee olla puhdistettavissa kokonaisuudessaan. /25, s. 30./

Kanavistossa käytettävät tiivisteet ja tiivistysaineet eivät saa olla huokoista materiaalia ja niiden tulee muodostaa sileä ja tasainen pinta. Tiivisteet eivät saa absorboida kosteutta, eivätkä ne saa muodostaa ravintoaineita mikro-organismien kasvulle. Lisäksi ruiskutettavien tiivistysaineiden käyttöä tulee välttää. /25, s. 28./

Ilmanvaihtojärjestelmä ja hallintalaitteet on suunniteltava vikatilan kestävällä periaatteella siltä osin kun se on mahdollista. Periaate tarkoittaa sitä, että tilanteessa jossa järjestelmään tulee häiriö, järjestelmä ohjautuu tilaan tai pysyy tilassa, josta aiheutuu potilaalle, henkilökunnalle tai vierailijoille mahdollisimman vähän haittaa. Ilmastointijärjestelmän suorituskykyä pitää voida valvoa, niin että potilasturvallisuuden kannalta kriittisiä indikaattoreita valvotaan ja niiden valvonta tallentuu kiinteistönvalvonta järjestelmään. Valvonnan avulla ilmastointijärjestelmän toiminta tulee voida analysoida, energiankulutus pitää voida optimoida sekä valvottavista suureista tulee ilmetä, että järjestelmä toimii oikein. /25, s. 21;23./

Hälytykset ovat erittäin tärkeitä järjestelmän oikean toiminnan ohjaamiseksi. Hälytys on signaali järjestelmän toimintahäiriöstä tai kriittisestä tilanteesta, joka voi aiheuttaa järjestelmän toimintahäiriön, ja se johtaa tilanteeseen, joka ei vastaa järjestelmän vaa-

timuksia tai se voi aiheuttaa jonkin järjestelmän komponentin rikkoutumisen. /25, s. 22./

Valvontajärjestelmän on ilmoitettava kaikkien asennuttujen komponenttien pakolliset hälytykset toimintahäiriöiden sattuessa EU 2006/42/CE direktiivin mukaan. Hälytykset tulee ilmaista visuaalisella tai akustisella signaalilla ja niiden kuittauksen tulee olla manuaalinen tai automaattinen. /25, s. 22./

3.7.2 Leikkaussalin ilmanjako ja suorituskyykyvaatimukset

CEN-TC156-WG18-standardiluonnoksen mukaan leikkaussalin ilmanjaolle on olemassa kaksi eri konseptia. Konseptit ovat Protected zone system ja Dilution mixing system. Standardiluonnos määrittelee konseptien ominaisuudet seuraavalla tavalla /26, s. 6;9/:

Protected zone system:	Laminaariseenilmajakoon perustuva ilmajakotapa, joka estää ilmasuihkun avulla huoneilman kulkeutumisen leikkausalueelle.
Protected zone:	Alue, jolla sijaitsee leikkauspöytä ja leikkausryhmä työskentelee ja joka suojataan laminaarisella ilmasuihkulla.
Periphery area:	Leikkaussalin reuna-alue, joilla liikkuu ja työskentelee leikkausta avustava henkilökunta.
Dilution mixing system	Sekoittavaan ilmajakoon perustuva järjestelmä jossa, laimentamalla ilman epäpuhtauksia pidetään yllä ilman puhtaustasoa.

Molemmilla ilmanjakotavoilla voidaan saavuttaa ilman puhtauden osalta erittäin puhtaan ilman (Ultra clean air) ja puhtaan ilman (Clean air) puhtaustasot. Käyttäjän vaatimusmäärittelyjen perusteella ilmajakojärjestelmää valitessa tulee ottaa huomioon ainakin seuraava asiat /26, s. 16/:

- leikkaussalin koko
- leikkaussalissa käytettävien laitteiden sijainti
- leikkaussalin laitteiden lämpökuormat
- kontaminaatio lähteet kuten anestesia- ja diathermialaitteet
- leikkaussalin korkeus
- henkilökunnan määrä leikkaussalissa
- vaatetus.

Dilution mixing system eli sekoittava ilmajako perustuu ilman epäpuhtauksien laimentamiseen. Laimentuminen saadaan tapahtumaan suhteellisen nopeasti, kun puhdas tuloilma saadaan sekoittumaan hyvin huoneilmaan. Näin useasta eri epäpuhtauslähteestä peräisin olevat epäpuhtaudet saadaan laimentumaan tasaisesti koko tilaan. Ideaalisesti toimivassa sekoittavassa ilmanjaossa ilman epäpuhtauspitoisuudet ovat samankaltaiset koko tilassa. /26, s. 17./

Sekoittavan ilmanjaon tuloilmamäärä määräytyy mikrobiologisen kuormituksen, lämpökuorman ja muiden epäpuhtauslähteiden sekä leikkaussalin toipumisajan perusteella. Näiden laskelmien perusteella ilmamääräksi täytyy valita suurin laskennallinen ilmamäärä. Sekoittavan ilmanjaon pienimmän tuloilmamäärän täytyy perustua epäpuhtauksien laimentamisen tehokkuuteen (CFU/m^3) epäpuhtauksien tuoton kokonaismäärästä. /26, s.17./

Sekoittavan ilmajaon suunnittelussa on otettava huomioon ainakin seuraavat asiat /26, s. 18/:

- henkilökunnan määrä leikkaussalissa
- leikkausvaatetus ja epäpuhtauksien emittoitumisen voimakkuus ($\text{CFU}/\text{s}/\text{hlö}$)
- tuloilman määrä
- tulo- ja poistoilmapäätelaitteiden sijainnit kunnollisen sekoittumisen aikaan saamiseksi

Protected zone systemin eli laminaariseen ilmanjakoon perustuvan ilmanjakotavan jonka tarkoitus on estää leikkaussalin huoneilman kulkeutuminen leikkausalueelle (protected zone). Huoneilman kulkeutumien leikkausalueelle estetään puhaltamalla tuloilma yhdensuuntaisella suihkulla suojatulle alueelle. Tavoitteena on, että epäpuh-

tauspitoisuudet ovat huomattavasti alemmat leikkausalueella kuin leikkaussalin reuna-alueilla (periphery area).

Laminaarisen ilmajaon suunnittelussa tulee ottaa huomioon ainakin seuraavat asiat /26, s. 17/:

- laminaarisen päätelaitteen muoto ja koko
- Ilman nopeus (suositus: $0,24 \leq v \leq 0,45$ m/s)
- Ilman lämpötila reuna-alueella ja mahdollinen tuloilman alilämpöisyys

Leikkaussalin ja leikkauksen valmistelutilojen ilmanvaihdon suorituskyvyn kriteerit voidaan jakaa suoran kontaminaation hallintaan ja yleisluontoisiin täydentäviin vaatimuksiin. Suorituskyky kriteerit leikkaussaleissa ja valmistelutiloissa pätevät määrätyille alueille, jos sellaiset on määritetty. Muutoin kriteerit koskevat koko huonetta. /26, s. 9./

Leikkaussalin ilmanvaihdon äärimmäinen suorituskyky määritetään kontaminaatioon johtavien riskitekijöiden vähentämisen tehokkuudella. Mitä enemmän leikkaussalissa on riskin aiheuttavia tekijöitä, sitä suurempi riski on, että potilas saa jonkin leikkaussalin ilmasta peräisin olevan infektion. Riskitekijöitä ovat /26, s. 9./

- leikkaushaavan, henkilöiden lamppujen, instrumenttien ja laitteiden sijainti
- leikkaushaavan koko
- henkilöiden määrä leikkaussalissa
- leikkausvaatetus
- henkilöiden liikkuminen
- leikkaussalin ovien käyttö
- ilman virtaaminen leikkaussaliin vähemmän puhtaista tiloista.

Standardiluonnoksen kriteereissä määritetään arvot ilman mikrobiologiselle puhtaudelle sekä ISO-14644-standardin mukaiset hiukkaskonsentraatiot. Hiukkaskonsentraation määrittämisen avulla leikkaussalille voidaan määrittää ISO-14644 luokituksen mukainen puhtausluokka. Hiukkaskonsentraatio tulee määrittää ISO-14644-3 ohjeiden mukaan. /26, s. 9./

Ilman mikrobiologinen puhtaus voidaan todeta kahdella tavalla /26, s. 10/:

Active sampling of air:	Aktiivinen näytteenotto menetelmä, jossa ilma imetään näyteputkeen tai pumpulla agarial sisältävään petrimaljaan tai suodattimelle josta mikrobimäärä (CFU/m ³) todetaan.
Passive sampling of air:	Sedimentaatioon perustuva passiivinen näytteenotto menetelmä, jossa ilman mikrobien annetaan laskeutua itsestään avoimeen petrimaljaan (CFU/Agar Ø90mm/1h).

Liitteenä 2 olevista CEN-TC156-WG18-standardin taulukoista ilmenee leikkaussalin eri käyttötilanteita ja eri ilmajakomenetelmiä koskevat raja-arvot. Leikkaussalin eri käyttötilanteilla tarkoitetaan tilanteita, joissa leikkaussalin ilmanvaihto ja henkilökunnan määrä vastaa leikkausolosuhteita (Operational) ja tilaa, jossa leikkaussali on toimintavalmiina, mutta siellä ei ole henkilökuntaa (At rest). /26, s. 7./

Liitteen 2 taulukoissa 3 ja 4 määritetyt raja-arvot koskevat Ultra clean air -vaatimuksen leikkaussaleja, joista taulukon 3 arvot koskevat laminaarisella ilmanjaolla toteutettuja saleja ja taulukon 4 arvot sekoittavalla ilmanjaolla toteutettuja saleja. /26, s. 10-11./

Liitteen 2 taulukoissa 5 ja 6 määritetyt raja-arvot koskevat Clean air -vaatimuksen leikkaussaleja, joista taulukon 5 arvot koskevat laminaarisella ilmanjaolla toteutettuja saleja ja taulukon 6 arvot sekoittavalla ilmanjaolla toteutettuja saleja. /26, s. 11./

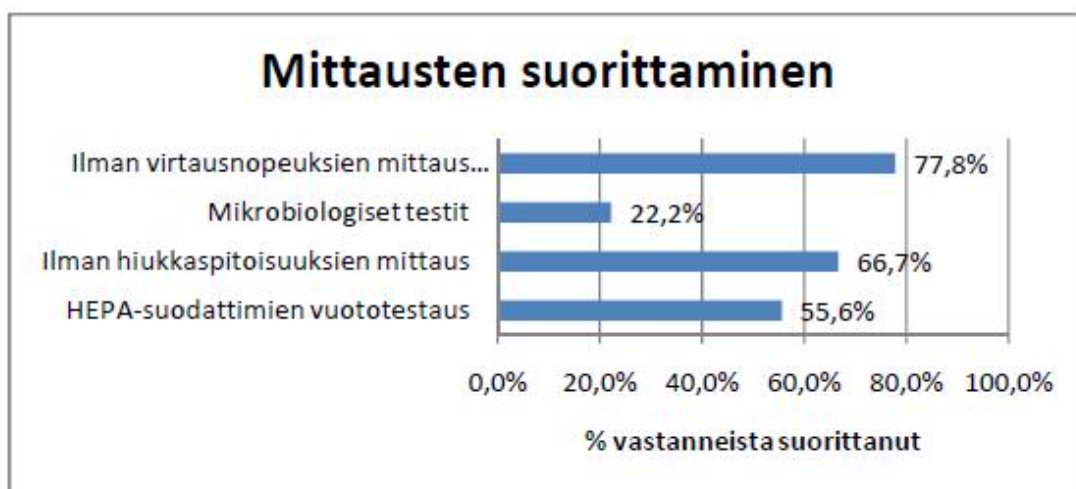
Taulukoissa mainittuihin leikkaussalivalaisinten häiriövaikutukseen ja leikkaussalin toipumisaikaan perehdytään tarkemmin kohdassa 4.3 ja 4.4.

4 LEIKKAUSSALIN ILMANVAIHDON TODENTAMISMITTAUKSET

Leikkaussalien ilmanvaihdon säännölliseen tutkimiseen ei tällä hetkellä ole Suomessa voimassa olevaa viranomaismääräystä. Olli-Pekka Jantusen Granlund Kuopio OY:lle tekemässä opinnäytetyössä /27/ on tutkittu kyselyn avulla sairaaloiden sen hetkistä leikkaussalien ilmanvaihdon tutkimusten määrää ja kattavuutta. Tässä kappaleessa kuvataan leikkaussalien todentamismittauksien taustaa, mittausmenetelmiä sekä CEN-TC156-WG18-standardiluonnoksen mukaisia mittauksia.

4.1 Mittauksien tausta

Olli-Pekka Jantusen vuonna 2012 tekemässä opinnäytetyössä tehtiin laaja kysely sairaaloille niiden leikkaussalien ilmanvaihdon tutkimisesta. Kysely koostui kaikkiaan 21 kysymyksestä, jotka käsittelivät leikkaussalien ilmanvaihtojärjestelmien ilmanjakotapaa, ilman kostutusta sekä leikkaussalien ilmanvaihdon todentamismittauksia. Kyselyyn vastaajiksi valikoitiin sairaaloiden LVI-tekniikasta vastaavia henkilöitä. Kyselyn avulla saatiin vastaukset yhdeksästä eri sairaanhoitopiiristä. Kysely kattoi kaiken kaikkiaan 214 leikkaussalia. Ilmanjakotavoiltaan leikkaussalit jakautuivat siten, että lähestulkoon puolet saleista olivat laminaarisella ilmanjaolla toteutettuja ja puolet sekoittavalla ilmanjaolla. Kyselyn avulla saatiin selville, kuinka sairaaloissa valvotaan ja mitataan leikkaussalien IV-järjestelmien tekniikan toimivuutta. Kuvassa 9 on kyselyyn vastanneiden sairaaloiden mittauksien suorittamisen sen hetkinen tilanne muutamien tärkeiden mitattavien tekijöiden osalta./27, s. 24.25./



KUVA 9. Leikkaussaleissa suoritettut mittaukset /27, s. 28/

Kyselyn perusteella kyselyyn vastanneissa sairaaloissa leikkaussalin ilmanvaihdon toimivuudelle oli suoritettu mittauksia yllättävän hyvin. Tulos on yllättävä siltä kannalta, ettei mittauksien suoritukseen ole ollut viranomaismääräyksiin pohjautuvaa velvoitetta. Kaikissa sairaaloissa leikkaussalien ilmanvaihdolle oli tehty jonkinlaista tutkimusta, suurimmassa osassa tutkimukset ovat olleet laajoja. Mittauksissa todettiin että, vastanneissa sairaaloissa lähes kaikissa oli tehty mittaukset ennen kuin leikkauksali on otettu käyttöön. Käytössä oleville leikkaussaleille on tehty mittauksia kaikissa muissa paitsi yhdessä sairaalassa. Ilmanvaihdosta on muun muassa mitattu ilman virtausnopeuksia, ilman hiukkas- ja mikrobipitoisuutta sekä hepa-suodattimien tiiveyttä. /27, s. 28-30./

Kyselyn tuloksista todettiin, että leikkaussalien ilmanvaihdon todentamismittauksien standardisoinnille on tarvetta. Varsinkin ilman mikrobiologisen puhtauden määrittäminen sai kiitosta. Tätä perusteltiin sillä, että kyseisellä menettelyllä saataisiin varmistettua leikkaussalin ilmanvaihdon hygieniataso, joka parantaa potilasturvallisuutta. /27, s. 31./

4.2 Mittausmenetelmät

Puhdastilojen sisäilmaolosuhteiden mittaamiseen on olemassa tarkkoja ohjeita muun muassa ISO 14644-standardissa. Leikkaussalien osalta voidaan myös käyttää näitä ohjeita yleisien sisäilmasto-olosuhteiden määrittämiseen, mutta on myös syytä suorittaa mittaukset tavalla, joka kuvaa leikkaussalissa työskentelevän henkilöstön ja potilaan kokemaa tuntemusta sisäilmastosta.

ISO 14644-3 standardin mukaan puhdastilan lämpötilan mittauksessa voidaan noudattaa seuraavia ohjeita: mittaukset tulee suorittaa työskentelyalueelta, alue tulee jakaa erillisiin osiin, mittaukset tulee suorittaa vähintään kahdesta pisteestä, ilmanvaihdon käynnistämisen jälkeen olosuhteiden täytyy antaa tasaantua vähintään tunnin ajan, lämpötila-anturi tulee sijoittaa työskentely korkeudelle vähintään 300mm etäisyydelle eri laitteista ja lämmönlähteistä ja anturin tulee tallentaa vähintään 5 minuutin pituinen ajanjakso ja mittaustuloksen tulee tallentua minuutin välein. Sopivia mittalaitteita ovat termometrit, resistanssilämpötila-anturit ja termistorit. Laitteiden tarkkuuksien tulee vastata ISO 7726-standardin vaatimuksia. /28, s. 39./

Kosteuden mittaus tulee suorittaa ilmanvaihdon säädön ja tasapainotuksen jälkeen, jolloin ilmastointijärjestelmän säätimet toimivat oikein. Mittauksen aikana tilassa tulee vallita tasaiset olosuhteet ja ilmastointijärjestelmän tulee olla täysin toimintakykyinen. Antureita tulee olla vähintään yksi, jokaista valvonta-aluetta kohden. Kosteusmittaus tulee suorittaa yhdessä lämpötilan mittauksen kanssa. Mittauksessa käytettävien mittalaitteiden tulee vastata ISO 7726 standardin antamia tarkkuusvaatimuksia. /28, s. 41./

Ilman hiukkaspitoisuuden määrittämiseen on annettu ohjeet ISO-14644-1 standardissa. Hiukkaskeräimen tulee pystyä näyttämään ja tallentamaan hiukkasten määrä ja koko. Laitteen tulee olla soveltuva havaitsemaan ilmasta koko hiukkaskonsentraatio sen mukaan mikä on tarkasteltava hiukkaskoko ja mihin koko luokkaan hiukkaset kuuluvat. Mittauspisteiden lukumäärä määräytyy puhdastilan pinta-alan mukaan. Puhdas-tila jaetaan saman kokoa oleviin alueisiin sen mukaan kuinka monta mittauspistettä tilassa tulee olla. Mittaus suoritetaan jokaisella alueella ja valitun mittauspisteen tulee kuvastaa kyseessä olevan alueen tunnuspiirteitä ja alueella tapahtuvaa toimintaa. Mittauspisteitä voidaan lisätä kriittisiin pisteisiin, mikäli sen katsotaan olevan tarpeellista. /18, s. 13./

Ilman mikrobiologisen puhtauden määrittämiseen käytetään CEN-TC156-WG18-standardiluonnoksen määrittämiä raja-arvoja. Mikrobiologinen puhtaus voidaan määrittää aktiivisella näytteenotolla tai passiivisella näytteenotolla.

Painesuhteiltaan leikkaussalin tulee olla ylipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden. Leikkaussalin ilma on puhtaampaa kuin ympäröivien tilojen joten, ylipaineisuuden ansiosta leikkaussaliin ei pääse virtaamaan likaisempaa ilmaa ympäröivistä tiloista. Tilan painesuhde mitataan tilan vaipan yli. Painesuhteiden käyttäytymistä olisi hyvä seurata loggerilla pitemmän ajanjakson ajan, jolloin saadaan selville painesuhteiden käyttäytyminen leikkaussalin eri toimintatiloissa.

Äänenpainetasojen mittaukset tulee suorittaa kuvaamaan leikkaussalissa työskentelevän henkilöstön kokemuksia. Liian suuret äänenpainetasot voivat hankaloittaa leikkaussalihenkilökunnan työskentelyä. Jotta leikkaussalin ilmanvaihdesta aiheutuvat äänenpainetasot saataisiin mitattua, tulisi kaikkien muiden leikkaussalin laitteiden olla suljettuina. Tämä on yleensä mahdollista vain vastaanottotarkastuksen yhteydessä.

Muiden suureiden mittaamiseen tulee käyttää niihin sopivaa laitteistoa ja mittauksia suorittaessa tulee noudattaa hyviä mittaustapoja. Mittauksista tulee tehdä tarkat pöytäkirjat ja käytetyt mittalaitteet tulee ilmoittaa.

4.3 Uudet salit

Uusien leikkaussalien ilmastoinnin toimintaan ja laatuun kiinnitetään huomiota jo suunnitteluvaiheessa. Leikkaussalin ilmastoinnille asetettujen vaatimusten täyttymisen edellytyksenä on että, kaikkien suunnitteluprojektiin osallistuvien tahojen vaatimukset otetaan huomioon ja jokainen taho on projektin edetessä informoitu oikein projektin tilasta. Kaikkiin terveydenhuollon kohteisiin tulevien ilmastointijärjestelmien rakentamiseen tulee kiinnittää suurta tarkkuutta, sillä ilmanvaihto on merkittävässä osassa luomassa turvallista sisäilmastoa potilaalle, henkilökunnalla ja vierailijoille. /25, s. 12./

Suunnitteluvaiheen jälkeen ilmastointilaitoksen laatua ja rakennetta valvotaan rakennusvaiheessa. Rakennusvaiheessa luodaan perusta ilmastointijärjestelmälle jonka on tarkoitus luoda tavoiteltu sisäilmasto leikkaussaliin. Ilmastointijärjestelmän rakenteen tulee noudattaa suunnitelmia tarkalleen. Asennusten aikana asennuksien laatua tulee valvoa ja kaikki asennuksiin liittyvät muutostyöt tulee hyväksyttää ennen niiden toteuttamista. /25, s. 14./ Rakennusvaiheen ja asennusten aikana tulee suorittaa seuraavat tekniset tarkastukset /26, s. 25/:

- Rakenteiden tarkastus
- Tiiveyskoe ja kanavien puhtauden tarkastus
- Kentälaitteiden testaus.

Kohteen luovutusvaiheessa on järjestelmälle suoritettava toiminnalliset testit. Toiminnallisten testien ja niiden tuloksien raportointien tulee viitata suunnitteluasiakirjossa määritettyihin arvoihin. Toiminnallisissa testeissä tulee suorittaa seuraavat kokeet /26, s. 25/:

- Ilmavirtojen tasapainotus
- Ilman virtausnopeuden mittaaminen (vain laminaarisessa ilmajakotavassa)
- Toimintakokeet

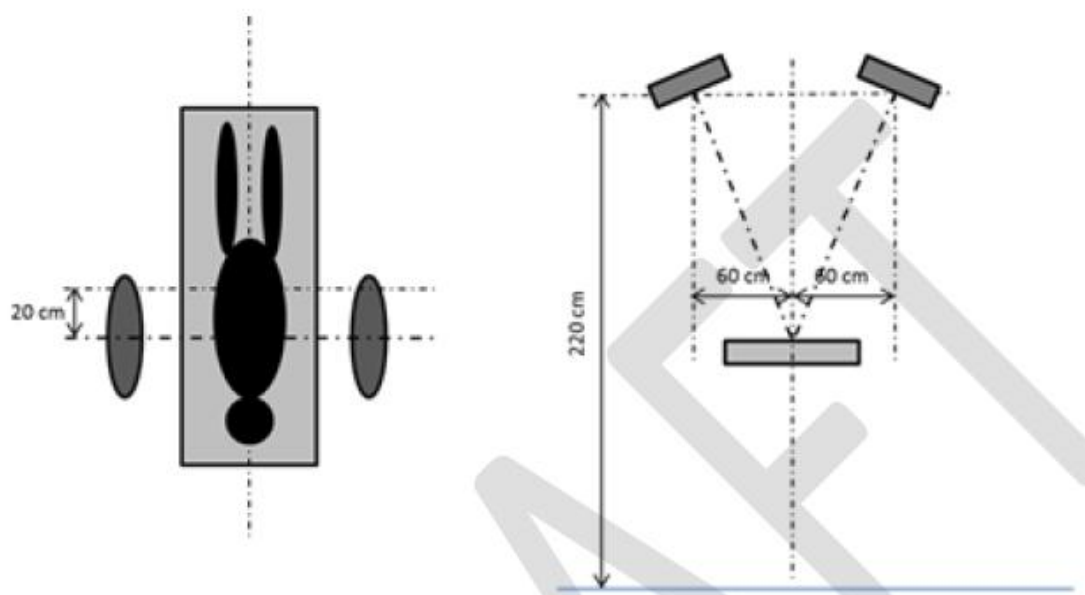
- Hälytyksien testaus
- Huoneen painesuhteet / virtauskuvio kokeet
- Suodattimien tiiveyskoe H13 luokan tai korkeamman suodatusluokan suodattimille (EN-ISO-14644-3 mukaan)
- Lisäksi muut suunnitelmissa määrätyt kokeet

Kun järjestelmät ovat valmiit ja käyttöön otettu, suoritetaan suorituskykytestit tilan ollessa tyhjä (at rest). Tuloksien tulee olla suunnitteluarvojen mukaisia, perustuen liitteen 2 taulukoihin 3,4,5 ja 6. Suoritettaessa suorituskykytestejä, on oleellista erottaa onko ilmanvaihtojärjestelmä sekoittava vai suojatun alueen järjestelmä (laminaarinen). Näiden eri ilmanjakotapojen mittausmenetelmät eroavat hieman toisistaan. Kun nämä testit on hyväksytty, voidaan leikkaussali ottaa käyttöön. /26, s. 22; 25./

Vaiheet sekoittavan ilmanjakojärjestelmän suorituskykytesteihin /26, s. 22-23/:

- 1) Määritellään kriittisen alueen koko, mieluummin merkitty jo lattiaan. Leikkaussalivalaisimien sijainti tulee olla määrätyllä paikalla (DIN 1946) mukaan.
- 2) Määritetään ISO luokka standardin ISO 14644-1 kriittisellä alueella partikkeleille joiden koko on $\geq 0.5\mu\text{m}$ määrätyissä mittauspisteissä.
- 3) Määritetään toipumisaika ISO 14644-3 mukaan kahdessa pisteessä. Yksi piste on kriittisellä alueella ja yksi piste reuna-alueella kahden palautusilmasäleikön välissä. Toipumisaika on pisin mitattu aika jolloin hiukkaspitoisuus on laimentunut 1/100 alkuperäisestä hiukkasten tuoton loputtua kaikissa mittauspisteissä.
- 4) Ilman mikrobiologinen testaus lisätään jos niin sovitaan.

Laminaarisella ilmajaolla toteutetussa leikkaussalissa tehdyt mittaukset poikkeavat hieman sekoittavan ilmanjaon leikkaussaleista. Laminaarisella ilmanjaolla toteutetuissa leikkaussaleissa täytyy muun muassa ottaa huomioon leikkaussalivalaisimien aiheuttama häiriövaikutus laminaariseen ilmavirtaan. Mittauksia suoritettaessa tulee valaisimien olla kuvan 10 mukaisesti asetettuna.



KUVA 10. Leikkaussalivalaisimien sijoitus /25, s. 18/

Vaiheet suojatun alueen ilmanjakojärjestelmän (laminaarinen ilmanjako) suorituskykytesteihin /26, s. 23/:

- 1) Määritetään suojatun alueen koko joka on merkitty lattiaan, sijoitetaan leikkaussalivalaisimet kuvan 10 mukaisesti.
- 2) Asetetaan mittauspisteet valitun metodin mukaan hiukkaspitoisuuden erottelutestiä varten.
- 3) Määritetään ISO luokka standardin ISO 14644-1 kriittisellä alueella partikkeleille joiden koko on $\geq 0.5\mu\text{m}$ määrättyissä mittauspisteissä.
- 4) Määritetään ISO luokka standardin ISO 14644-1 reuna-alueella partikkeleille joiden koko on $\geq 0.5\mu\text{m}$ (mittauspisteiden määrä ISO 14644-1 mukaan) tasaisesti jaoteltuna reuna-alueelle, kuitenkin vähintään yksi mittauspiste keskelle jokaista seinää.
- 5) Jos toimittajan ja asiakkaan välillä on sovittu, ettei erottelutestiä tarvita, voidaan siirtyä vaiheeseen 8.
- 6) Määritetään suojauksen taso suojatulla alueella ISO-14644-3 erottelutestin mukaan.
- 7) Mikäli toimittajan ja asiakkaan välillä on sovittu, määritetään valaisimien häiriövaikutuksentoipumisaika. Toipumisaika määritetään yhden lampun (suurimman) alla keskellä pöytää merkittävällä hiukkaspitoisuudella käyttöönoton jälkeen. Toipumisaika on pisin mitattu aika kaikista mittauspisteistä kun hiukkaspitoisuus on vähentynyt 1/100 alkuperäisestä.

- 8) Erottelutesti ei ole soveltuva tilanteessa, jossa suojauksen taso ei ole riittävä yhdessä tai useammassa mittauspisteessä, tällöin järjestelmä ei läpäise testiä. Tällöin toipumisaika on määritettävä.
- 9) Määritetään toipumisaika reuna-alueella, kahdessa pisteessä, kahden palautusilma säleikön välissä. Toipumisaika on pisin mitattu aika, jolloin hiukkaspitoisuus laimenee 1/100 alkuperäisestä kaikissa mittauspisteissä.
- 10) Ilman mikrobiologinen testaus lisätään jos niin sovitaan.

Suorituskykymittauksien lisäksi voidaan mitata muita suureita, mikäli se nähdään tarpeelliseksi leikkaussalin ilmanvaihdon oikean ja turvallisen toiminnan kannalta.

4.4 Ylläpidon aikaiset todentamismittaukset

Standardi luonnos CEN-TC156-WG18 määrittää leikkaussaleille myös määräajoin tehtävät ilmastoinnin toimivuuden varmistavat mittaukset. Ilmastointijärjestelmän suorituskykyä voidaan pitää jatkuvana, mikäli järjestelmä hyvässä kunnossa ja se toimii suunnitelluilla arvoilla. /26, s. 26./

Kun suorituskyvyn on vastaanottotarkastuksissa osoitettu olevan määrittelyjen mukainen, koko järjestelmää ei ole tarvetta uudelleen määrittää liitteen 2 taulukoiden 3-6 mukaan. /26, s. 26./

Määräaikaiset tarkastukset tulee tehdä taulukon 6 mukaan. Hepa-suodattimien ehjyys, ilmavirrat, ilmavirran suuntaus, painesuhteet ja ilman virtauskuvio ovat sopivia indikaattoreita kuvaamaan mahdollista toimintahäiriötä järjestelmässä. /26, s. 26./

Taulukossa 8 on standardiluonnoksen määrittämät säännölliset leikkaussalin ilmanvaihdon tarkastukset.

TAULUKKO 8. Säännöllisin väliajoin toteutettavat mittaukset /26, s. 26-27/

Kokeen kohde	Maksimi väli
Ilman tilavuusvirta	≤ 2vuotta
Suodattimien tiiveyskoe H13 luokan, tai paremman suodatusluokan suodattimille	≤ 2vuotta
Ilman puhdistumiskoe (kun ilmastointijärjestelmää käytetään toiminta-ajan ulkopuolella osateholla)	≤ 2vuotta
Painesuhteet /ilman virtauskuvio	≤ 1vuotta

Tilanteissa, joissa tapahtuu suuria muutoksia ilmavirtojen tasapainotukselle, eri komponenttien rakenteelliselle sijoittelulle tai ilmankäsittely järjestelmälle, tulee järjestelmä testata ja tarkastaa asennustarkastuksissa ja toimintakokeissa mainittujen suureiden osalta ja suorittaa suorituskyselytestit ilmanjakojärjestelmän mukaan. Tämä ei kuitenkaan ole tarpeellinen esimerkiksi tilanteissa, joissa vaihdetaan Hepa-suodattimet. Näissä tilanteissa suodattimien tiiveyskoe on riittävä. /26, s. 27./

5 PILOTTIMITTAUKSET YLIOPISTOLLISEN SAIRAALAN LEIKKAUSSALISSA

Tätä opinnäytetyötä varten Kuopion Granlund Oy pyrki saamaan toteutetuksi CEN-TC156-WG18-standardi luonnoksen vaatimuksia vastaavat pilottimittaukset jossakin leikkaussalissa. Pilottimittaukset toteutuivat 29.1 - 30.1.2016 eräässä leikkaussalissa.

Kuopion Granlund Oy tekee leikkaussalien ilmanvaihdon todentamismittauksissa yhteistyötä Halton Oy:n kanssa. Halton Oy vastaa pääasiassa mittauksien suorittamisesta. Pilottimittauksia suorittamassa oli tämän opinnäytetyöntekijän lisäksi kaksi henkilöä Halton Oy:stä.

5.1 Kohde

Pilottimittauksien kohteeksi saatiin erään yliopistollisen sairaalan leikkaussali. Leikkaussali on valmistunut vuonna 2013. Leikkaussalin ilmanvaihto perustuu laminaarikattoratkaisuun, jossa ilma puhalletaan leikkaussaliin katossa olevalta hepa-

suodatinvyöhykkeeltä. Suodatinvyöhykkeessä on kaksinopeuksinen tasainkangas sekä reunoilla matalat ilmanohjaimet. Leikkaussalin laminaarikatto on esitetty kuvassa 11. Suodatinvyöhykkeen koko on 2,4m x 1,8m. Ilmanjako ei ole aivan perinteinen laminaarinen, vaan enemmänkin yhdistelmäilmanjako, sillä poistoilma poistetaan leikkaussalin kolmesta nurkasta seinän yläosasta ja alaosasta. Leikkaussalin IV-tasokuva on liitteenä 3.



KUVA 11. Leikkaussalin laminaarikatto ja ilmanohjaimet /30, s. 3/

Leikkaussalin ilmanvaihdesta huolehtii oma palautusilmakone joka sisältää ilman käsittelyyn tarvittavat jäähdytyksen, kostutuksen, lämmityksen, F9 luokan hienosuodattimen ja aktiivihiihisiuodattimen. Salin ulkoilma toimitetaan leikkaussaliin useaa leikkaussalia palvelevalla ulkoilmakoneella. Ulkoilmakone sisältää karkea- ja hienosuodattimet, nestekiertoisen lämmöntalteenoton, sekä lisälämmityksen ja jäähdytyksen. Ulkoilma on kanavoitu palautusilmakoneen imupuolelle ja ulkoilman määrää ohjataan ilmamääräsäätteisellä säätöpellillä. /30, s. 4./ Leikkaussalin ilmanvaihdon iv-periaatekaavio on liitteenä 4.

Leikkaussalin käyttötilanteen tuloilmamäärä on 1050 l/s. Ulkoilmaa tästä määrästä on noin 350 l/s, loput ilmasta on kierrätysilmaa. Leikkaussalin ollessa lepotilassa (set

back tila) ilmamäärä alenee tuloilman, että poistoilman osalta n. 35 % käyttötilanteesta. Leikkaussalin ilmamäärät ovat kertosäätöisesti asetettuja. Raitis- ja poistoilmavirrat pitävät leikkaussalin halutussa paineessa ympäröiviin tiloihin nähden. Leikkaussalin ilmanvaihdon ilmavirrat on mitoitettu siten, että leikkaussali pysyy jokaisessa ilmanvaihdon tilassa ylipaineisena ympäröiviin tiloihin nähden. Ilmanvaihtojärjestelmässä ei siis ole aktiiviseen paine-eron mittaukseen perustuvaa ilmavirtojen säätöä. Leikkaussalin on todettu olevan hyvin tiivis ($n_{50} = 1,5 - 1,8$), joten painesuhteen ylläpitämiseksi ei tarvita suurta eroa tulo- ja poistoilmamäärien välillä. /30, s. 4/

Leikkaussalin käyttökäyttöhenkilökunta voi leikkaussalista käsin ohjata leikkaussalin lämpötilaa, sekä infektio tapauksissa säätää leikkaussalin alipaineiseksi. Säätö tapahtuu leikkaussaliin sijoitetulla hallintapaneelilla, joka on esitetty kuvassa 12. Muut ilman käsittelyyn liittyvät säädöt tehdään kiinteistön valvontahenkilökunnan toimesta. /30, s. 4./



KUVA 12. Leikkaussalin hallintapaneeli /30, s. 4/

5.2 Mittauksien suoritus ja käytetyt mittalaitteet

Mittaukset suoritettiin 29.1 - 30.1.2016. Mittauksia suoritettaessa leikkaussalissa noudatettiin hyvän hygienian periaatteita. Mittaajat pukeutuivat mittauksien ajan sairaalan leikkausosaston asuihin. Hiukkas- ja mikrobimittauksien ajan mittaajalla oli päällään puhdastila-asu ja hengityssuojain. Mittauksien aikana leikkaussali oli At Rest-tilassa. Yön yli kestäneen hiukkaspitoisuuden tarkkailun ja painesuhteiden seurannan aikana leikkaussali siirtyi kiinteistöautomaation ohjaamana set back-tilaan.

5.2.1 Järjestelmän yleistarkastus

Järjestelmän yleistarkastuksessa tarkastetaan ilmastointikoneiden yleinen kunto ja puhtaus. Tarkastuksessa kiinnitetään huomiota iv-konehuoneen siisteyteen, laitteiden asennustapaan, iv-koneen huollon vaatiman tilan riittävyyteen ja selvitetään huolto-toimenpiteiden suoritukset. Yleisen tarkastuksen aikana saadaan myös selville kiinteistön LVI-laitteiden käyttöhenkilökunnalta tarvittavat tiedot järjestelmän yleisestä toiminnasta.

5.2.2 Ilman hiukkaspuhtauden määrittäminen

Leikkaussalin ilman hiukkaspuhtaus määritetään, jotta voidaan varmistua että, puhtausluokituksen mukainen puhtausluokka saavutetaan. Mittaus suoritetaan leikkaussalin ollessa lepotilassa. Mittaus suoritetaan ISO-14644-1 mukaisesti.

Ultra Clean Air -luokan leikkaussaleissa vaatimuksena on ISO 5 luokan hiukkaspitoisuus. Mikäli leikkaussali on toteutettu laminaarisella ilmanjaolla, sallitaan leikkaussalin reuna-alueilla ISO 6 luokan hiukkaspitoisuus. Clean Air -luokituksen leikkaussaleissa vaatimuksena on ISO 7 luokka. Puhtausluokitus on taulukossa 2.

Hiukkaspuhtauden määrittämiseen käytettiin Particle Measuring Systems Lasair II-350L hiukkaslaskuria. Hiukkaslaskurin imuilmamäärä on 50 l/s ja laskurin ilmoittamat hiukkaskoot ovat 0,3 / 0,5 / 1,0 / 5,0 / 10,0 / 25,0µm. /30, s. 6./

5.2.3 Ilman mikrobiologisen puhtauden määrittäminen

Ilman mikrobiologisen puhtauden määrittämisellä varmistetaan, ettei leikkaussalin ilmassa olevien pesäkkeitä muodostavien yksiköiden (CFU/m³) määrä ylitä määrättyjä arvoja.

Ultra Clean Air -luokan leikkaussaleissa At Rest-tilan vaatimuksena on ≤ 1 CFU/m³. Vaatimus on voimassa koko leikkaussalissa. Clean Air -luokituksen leikkaussaleissa At Rest-tilan vaatimuksena on ≤ 10 CFU/m³.



KUVA 13. Mikrobinäytteen sisältävän gelatiinisuodattimen siirtäminen veriagarmaljaan /30, s. 7/

Mikrobiologisen puhtauden määrittämiseen käytettiin mikrobikeräintä Sartorius Airport MD8 (16757). Keräimen imuilmamäärä on 50 l/min ja imutilavuus 500 l. Keräin imee ilmasta näytteen gelatiinisuodattimelle joka asetetaan veriagaria sisältävään maljaan, jossa näyte analysoidaan laboratoriossa. /30, s. 7./

5.2.4 Leikkaussalin toipumisaika ja leikkaussalivalaisinten häiriövaikutuksen määrittäminen

Määrittämällä leikkaussalin toipumisaika ja valaisinten häiriövaikutus, voidaan varmistua että ilman vaadittu puhtaustaso saavutetaan riittävän nopeasti kuormituksen jälkeen. Leikkaussalin toipumisaika kuvastaa ilmanvaihdon kykyä laimentaa tai poistaa ilman epäpuhtaudet. Toipumisaika on aika, jolloin mitattu hiukkaspitoisuus laimenee 1/100 alkuperäisestä. Toipumisaika on pisin aika kaikista mittauspisteistä mitausta ajoista. Mittaus suoritetaan ISO 14644-3 standardin mukaan.

Valaisimien häiriövaikutuksen määrittämisessä mittaus tehdään lepotilassa olevalle leikkaussalille. Mittaus suoritetaan päästämällä suurimman leikkaussalivalaisimen alle merkittävä hiukkaspäästö, ja määritetään aika jolloin hiukkaspäästö on laimentunut. Hiukkaspäästö tuotettiin hiukkasgeneraattorilla Topas GmbH ATM 226. /30, s. 10./

Leikkaussalin toipumisaajan tavoiteaika on Ultra Clean Air -luokan saleille < 15 min ja Clean Air -luokan saleille < 20 min. Valaisinten häiriövaikutuksen tavoiteaika Ultra Clean Air -luokan saleille on < 5 min. Clean Air -luokan saleille vaatimusta ei ole. Toipumisaika ja valaisintenhäiriövaikutus mitattiin kohdassa 5.2.2 mainitulla hiukkasräimellä.

5.2.5 Leikkaussalin painesuhteiden tarkistus

Ilmavirtoja tilojen välillä hallitaan tilojen painesuhteiden avulla. Ilman ja ilman mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien tulee virrata puhtaimmista tiloista kohti likaisempia tiloja. Leikkaussali täytyy pysyä puhtaana, joten sen tulee olla ylipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden. ISO-14644-4 standardin mukaan optimaalinen paine-ero tilojen välillä on 5 – 20 Pa. Tällöin vältetään turhilta ilman pyörteilyltä oviaukoissa eikä ovien avautuminen vaikeudu. /30, s. 9./

Tilojen painesuhteet mitattiin leikkaussalin oven tiivisteen välistä. Paine-ero mittarina käytettiin Mikor Instruments Oy:n TT570SV mikromanometriä. Leikkaussalin painesuhteita tarkkailtiin myös yön yli kestäväällä seurannalla, jolloin saatiin selville painesuhteiden käyttäytyminen leikkaussalin eri toimintatiloissa. Paine-eron seurantaan käytettiin HK Instruments, DPT 2500 - R8 mittaria. /30, s. 9./

5.2.6 Hepa-suodattimien tiiveyskoe

Hepa-suodattimien tiiveyskoe suoritetaan, jotta varmistetaan suodattimen kunto, oikea asennus. Testillä voidaan myös osoittaa suodattimen ja hajottajan yhteensopivuus sekä keskinäinen tiiveys. Mittaukset tehdään standardin ISO 14644-3:2006 kohtaa B.6. soveltaen. Mittalaitteena käytettiin kohdassa 5.2.2 esitettyä hiukkaslaskuria. /30, s. 10./ Mittaus suoritettiin kuljettamalla hiukkaslaskurin imukartiota noin viiden senttimetrin etäisyydellä Hepa-suodattimista. Tällä tavalla käytiin läpi koko laminaarikaton Hepa-suodatin alue. Mittaustuloksen mahdollisimman hyvän luotettavuuden takia mittausta suoritettiin läheltä Hepa-suodatinta, jotta leikkaussalin huoneilmaa ei sekoitu tuloilmaan. Huoneilman hiukkaspitoisuus olisi vääristänyt mittaustulosta.

5.2.7 Leikkaussalin olosuhteiden määrittäminen ja seuranta

Leikkaussaliolosuhteiden määrittäminen kattaa ilman liikenopeuden, lämpötilan ja kosteuden mittaamisen. Näiden suureiden mittaamisella varmistetaan turvalliset olosuhteet leikkaussalin henkilökunnalle ja potilaalle.

Ilman virtausnopeudet mitattiin laminaarisen ilmavirtauksen alueelta, leikkauspöydän läheisyydestä. Mittaukset suoritettiin kuvaamaan leikkausryhmän kokemuksia. Mittaukset suoritettiin myös leikkauspöydän yläpuolelta, jolloin ne kuvaavat potilaan kokemusta.

Ilman lämpötila ja kosteus mitattiin anestesiahoitajan paikalta sekä leikkaussalissa olevan tietokoneen luota. Mittaukset tehtiin työskentelykorkeudelta, n. 1,1m. Mittaukset suoritettiin myös leikkauspöydältä, potilaan kohdalta.

Leikkaussalissa mitattiin myös äänenpainetasot. Äänenpainetasomittausten tavoitteena on selvittää leikkaussalin ilmanvaihdesta aiheutuvat äänitasot. Äänitasot vaikuttavat viihtyvyyteen leikkaussalissa sekä leikkaussalihenkilökunnan kommunikointiin. Tavoitearvona oli SIS-TS 39:2012-standardin mukaan <45 dB(A). Äänenpainetasot mitattiin SIP95 äänimittarilla. Mittari tallentaa mittaustulokset terssikaistoittain, sekä ilmoittaa mittauksen A-painotetun tuloksen.

Leikkaussalin ilman lämpötilaa sekä leikkaussalin ilmanhiukkaspitoisuutta seurattiin myös 12 tunnin seurantajaksolla. Tänä aikana leikkaussalin ilmanvaihto säätökiinteistöautomaation ohjaamana leikkaustilanteesta set back – tilaan. Set back – tilassa leikkaussalin ilmanvaihdon määrä pienenee noin 35 %. Seurantajaksolla pyrittiin tutkimaan kuinka leikkaussalin lämpötila ja ilman hiukkaspitoisuus käyttäytyvät leikkaussalin siirtyessä set back – tilaan. Lämpötilan seurantaan käytettiin Tinytag, Talk 2 Thermistor Probe TK-4023 lämpötilaloggeria. Leikkaussalin ilman hiukkaspitoisuuden seurantaan käytettiin kohdassa 5.2.2 mainittua hiukkaskeräintä.

Ilman virtausnopeusmittarina oli TSI VelociCalc Plus (8386). Lämpötila- ja kosteusmittarina oli Vaisala HM 34 kosteus- ja lämpötilamittari. Äänenpainetasomittarina oli 01dB SIP95.

5.2.8 Leikkaussalin ilmamäärien tarkistus ja ilman virtauskuvion tarkistus

Leikkaussalin ilmamäärät tarkastettiin, jotta voidaan varmistua että ilmanvaihtojärjestelmä toimii suunnitellulla tavalla. Ilmamäärien mittaamenetelmänä käytettiin otsapintanopeuksien mittausta. Otsapintanopeuksien perusteella laskettiin tulo- ja poistoilmavirrat. Mittarina käytettiin 5.2.7 kohdassa mainittua ilmannopeusmittaria.

Leikkaussalissa tutkittiin ilmavirtojen liikettä keinosavun avulla. Ilmavirran liikettä tutkittiin leikkauspöydän yläpuolella sekä leikkaussalin reuna-alueilla. Leikkauspöydän yläpuolella savun avulla voidaan muun muassa havainnollistaa kirurgista irtoavien hiukkasten liikettä potilaan yläpuolella. Reuna-alueilla tutkittiin vaihtuuko leikkaussalin ilma tasaisesti joka puolella leikkaussalia.

5.2.9 Leikkaussalin pintapuhtauden tarkistus

Mittauksien yhteydessä leikkaussalissa tutkittiin myös yleistä pintapuhtautta. Pintapuhtautta tutkittiin pölynäytteiden, mikrobiologisen puhtauden ja valkuaisainejäämien avulla.

Pölymittauksella arvioitiin leikkaussalin siivouksen laatua ja siisteyttä. Sisäpintojen pöly voi pitää sisällään mikrobeja ja niiden aineenvaihdunnant tuotteita, jotka voivat olla ihmiselle haitallisia leikkaustilanteessa. Pintapölymittaukset suoritettiin ja tulok-

set käsiteltiin SFS 5994 INSTA 800 standardin mukaisesti. Taulukossa 9 on esitettyinä pölykertymien laatutasot.

TAULUKKO 9. Pölykertymien mittauksessa käytettävät laatutasot pölyisyysprosentteina kovien pintojen osalta /30, s. 8 /

Laatutaso	Kehoa lähellä olevat pinnat	Huonekalut ja kiintokalusteet		Kovat lattiat	
	A	A	NA	A	NA
Pölyisyys-taso 5	0,7	1,0	3,0	1,5	2,5
Pölyisyys-taso 4	1,0	1,5	5,0	3,0	5,0
Pölyisyys-taso 3	2,0	2,5	10,0	7,0	10,0
Pölyisyys-taso 2	4,0	5,0	15,0	12,0	18,0
Pölyisyys-taso 1	>4,0	>5,0	>15,0	>12,0	>18,0

A = helposti tavoitettavat pinnat, NA = vaikeasti tavoitettavat pinnat.

Pölyisyystasojen 2...5 arvot ovat enimmäisarvoja.

Kosketuspintojen mikrobiologista puhtautta tutkittiin Hygicult TPC -näyteliuksia. Näyteliuksia kertoo kokonaisbakteeripitoisuuden mitatulta pinnalta. Pintojen valkuaisainejäämiä tutkittiin CleanCard Pro -pyyhkäisyliuskoilla. Ne ovat tarkoitettu puhtauden tason seuraamiseen ja vahvistamiseen tiloissa joissa valkuaisainejäämät ovat mahdollisia. Pinnoilta löytyvät valkuaisainejäämät kertovat riittämättömästä puhtaudesta. Pintapuhtaus on leikkaussaleissa tärkeää sillä, likaiset pinnat edistävät mikrobikasvustoa ja mikrobit voivat kulkeutua kosketuspinoilta aina potilaaseen saakka. /30, s. 8-9./

6 MITTAUKSIEN TULOKSET

6.1 Järjestelmän yleistarkastus

Järjestelmän yleisilme oli kaikilta osin siisti. Ilmanvaihtokoneet sijaitsivat kaksi kerrosta leikkaussalia ylempänä iv-konehuoneessa. Ilmanvaihtokoneet olivat uudehkoja ja puhtaita. Konehuone oli siistissä kunnossa ja riittävästi valaistu. Huollon kannalta konehuone oli myös riittävän väljästi rakennettu.

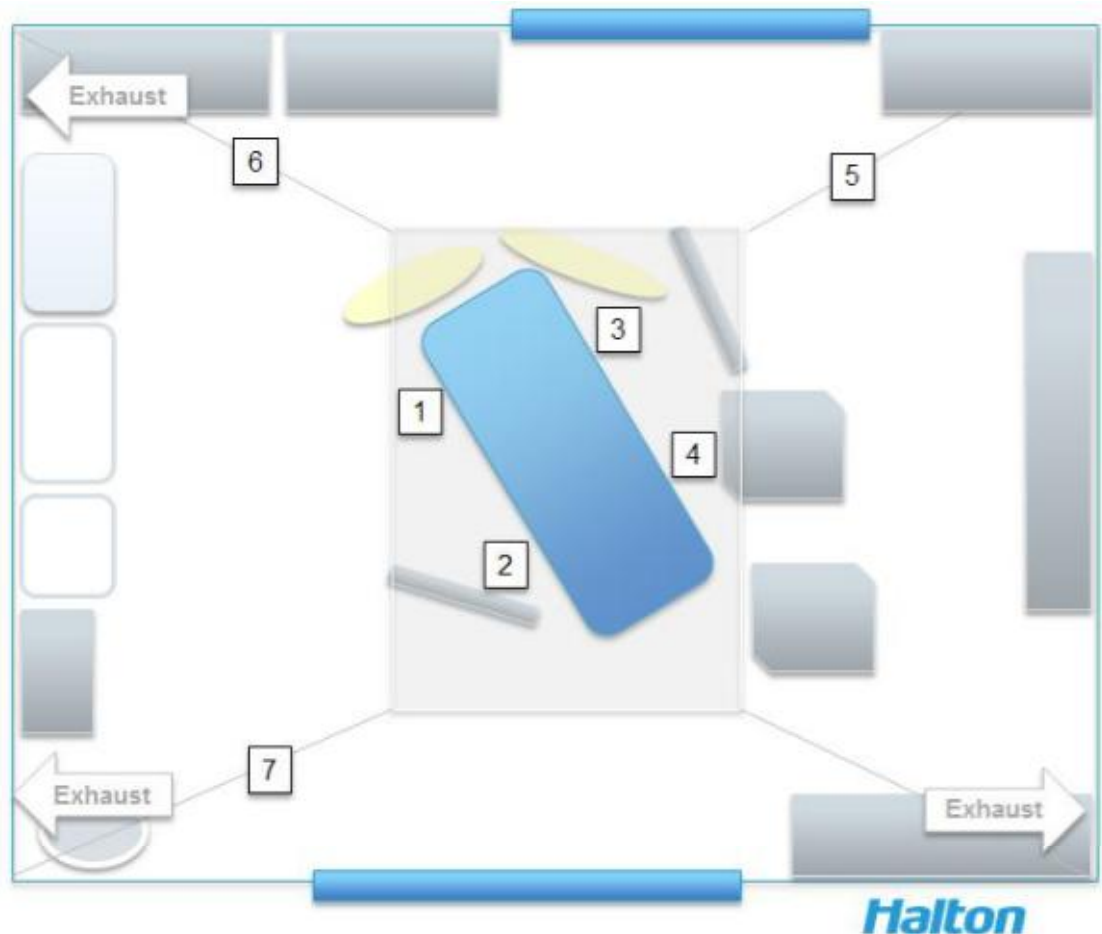
Sairaalan LVI-laitteista vastalta henkilöltä saatujen tietojen mukaan ilmanvaihtokoneiden huolto ja tarkistus tehdään säännöllisin väliajoin. Viimeisimmät huollot leikkaussalin ulkoilmakoneelle oli tehty marras/joulukuussa 2015, jolloin koneeseen oli vaihdettu hienosuodattimet. Tammikuussa 2016 koneeseen oli vaihdettu karkeasuodatin, suodattimeen kulkeutuneen pakkaslumen aiheuttaman kosteuden takia.

Leikkaussali sijoittuu leikkausosastolla kahden käytävän väliin. Leikkaussaliin on sisäänkäynti molemmilta käytäviltä. Leikkaussalin molemmat ovet ovat tiivisteeellisiä liukuovia. Liukuovat toimivat kosketusvapaalla kytkimellä. Ovet toimivat hyvin ja tiivistyvät sulkeuduttuaan.

Leikkaussali oli yleisilmeeltään siisti. Leikkaussalissa oleva ilmanvaihdon hallintapaneeli oli helppokäyttöinen, selkeä ja helposti puhdistettavissa. Hallintapaneelistä ilmeni ilman lämpötilan asetus- ja mittausarvo, kosteuden asetus- ja mittausarvo sekä paine-eron mittaus arvo.

6.2 Ilman hiukkaspuhtaus

Leikkaussalin ilma hiukkaspuhtaus mitattiin leikkaussalissa seitsemästä pisteestä. Mittauspisteiden määrä perustuu ISO 14644-1standardin ohjeeseen, jossa mittauspisteiden määrä määräytyy suhteessa leikkaussalin pinta-alaan. Kuvassa 14 on esitetty hiukkaspuhtauden mittauksessa käytetyt mittapisteet leikkaussalin suuntaa-antavassa pohjapiirroksessa. Mittauspisteet 1-4 sijoittuvat laminaarikaton alapuolelle, eli leikkausalueelle. Pisteet 5-7 sijoittuvat leikkaussalin reuna-alueelle.



KUVA 14. Hiukkaspuhtaustason mittauksen mittapisteet /30, s. 17/

Taulukossa 10 on esitetty hiukkasmittauksen tulokset. Taulukossa on esitetty mittaus-
tulokset eriteltynä jokaisesta mittapisteestä kaikilla hiukkasten koko luokilla. Taulu-
kon analysoiduista tuloksista k.a tarkoittaa keskiarvoa, s.d keskihajontaa, 95% UCL
luottamusväliä, jonka mukaan 95% mittaustuloksista on pienempi tai yhtä suuri kuin
kyseinen arvo ja round on 95% UCL pyöristettynä lähimpään kymmenlukuun. Hiuk-
kaskoon ISO-luokka määräytyy 95 % UCL arvon mukaan. Tuloksia tarkastellessa on
syytä kiinnittää huomiota siihen että, ISO- luokituksen laskenta soveltuu vain 5µm
hiukkaskokoon asti. Mittaustuloksista ei siis tarvitse ottaa huomioon 10µm ja 25µm
kokoisia hiukkasia.

TAULUKKO 10. Hiukkaspuhtausmittauksen tulokset eri mittapisteistä, n/m³
/30, s. 17/

Mittapiste	>0,3 µm	>0,5 µm	>1 µm	>5 µm	>10 µm	>25 µm
1	4 190	400	81	17	4	1
2	61	3	0	0	0	0
3	43	10	2	2	0	0
4	722	297	158	12	1	0
5	709	194	101	9	0	0
6	9 373	602	200	55	14	4
7	11 743	3 103	1 276	85	10	0
k.a.	3 834	658	260	26	4	1
s.d.	4 855	1 099	454	32	6	2
95 % UCL	7 321	1 447	586	49	9	2
round	7 320	1 450	590	49	9	2
ISO-luokka	4.9	4.6	4.9	5.2		
ISO-luokka	5	5	5	6		

Mittauspisteen 1 muita leikkausalueen mittapisteitä suuremmat hiukkaspitoisuudet selittyvät pisteen sijainnilla; mittauspiste sijaitsi laminaarikaton reunalla, jolloin on mahdollista että laminaariseen ilmasuihkuun sekoittuu huoneilmaa. Piste 7 arvot olivat huomattavasti suuremmat kuin muiden mittauspisteiden. Piste 7 mittauksissa 0,3µm kokoisten hiukkasten määrä ylittää ISO 5 luokan raja-arvon. Tulokselle ei mittauksissa löytynyt selvää syytä. Piste 7 läheisyydessä ei ollut mitään merkittävää epäpuhtauslähdettä. Nurkassa joka on lähinnä pistettä 7, on poistoilmasäleiköt joten ilman ei myöskään pitäisi olla ”seisovaa” tällä alueella. /30, s. 18./

Standardiluonnos CEN-TC156-WG18 sallii laminaarisella ilmanjaolla toteutetuille saleille eri suuret hiukkaspitoisuudet leikkaus-alueelle ja reuna-alueille. Taulukossa 11 on tarkasteltu leikkaus-alueen tuloksia.

TAULUKKO 11. Hiukkaspuhtausmittauksen tulokset leikkausalueelta, n/m³ /30, s. 18/

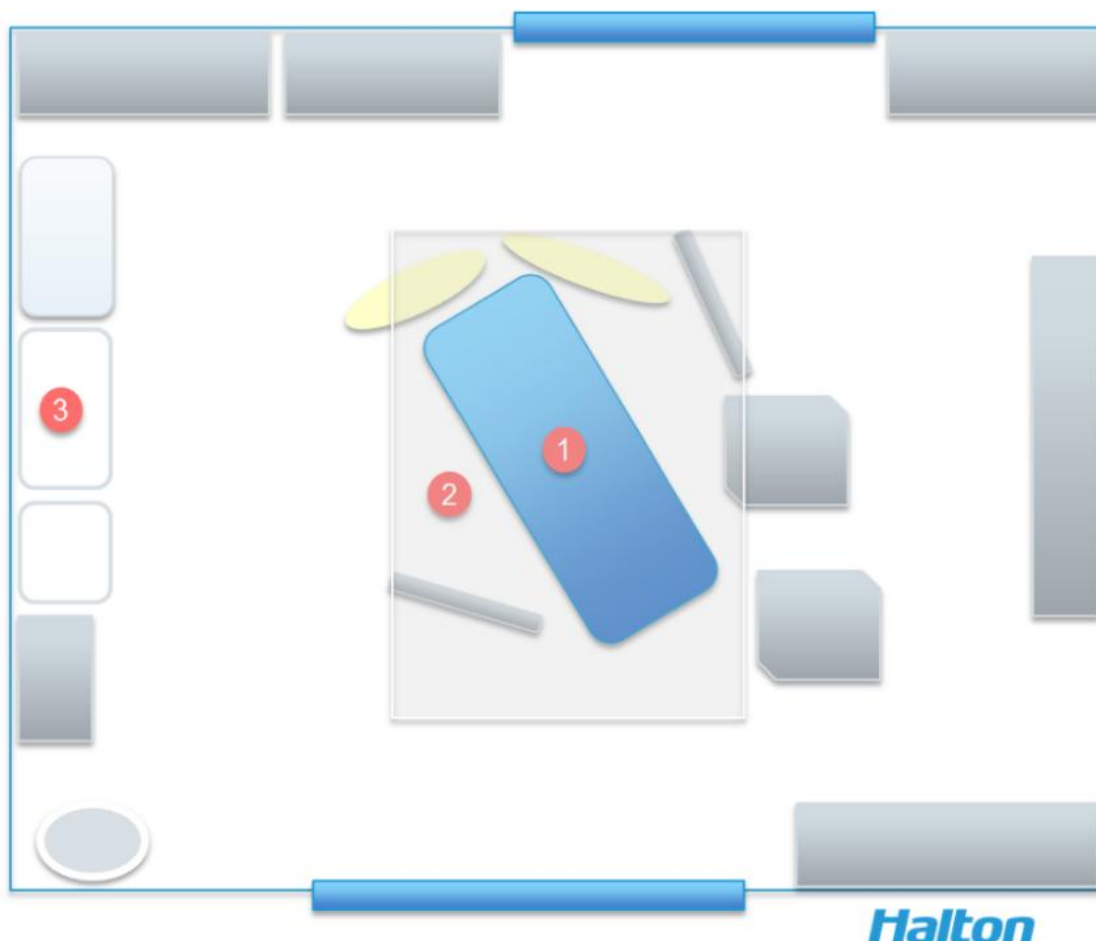
Mittapiste	>0,3 um	>0,5 um	>1 um	>5 um	>10 um	>25 um
1	4 190	400	81	17	4	1
2	61	3	0	0	0	0
3	43	10	2	2	0	0
4	722	297	158	12	1	0
k.a.	1 254	178	60	8	1	0
s.d.	1 983	202	75	8	2	1
95 % UCL	3 633	420	151	18	4	1
round	3 630	420	150	18	4	1
ISO-luokka	4.6	4.1	4.3	4.8		
ISO-luokka	5	5	5	5		

Leikkausaluetta tarkasteltaessa voidaan todeta että, leikkausalueella saavutetaan ISO - 5 luokka.

Leikkaussali täyttää CEN-TC156-WG18 standardiluonnoksen Ultra Clean Air -luokan vaatimukset. Vaatimuksena on että, hiukkaspitoisuus leikkausalueella tulee olla ISO 5 – luokkaa ja reuna-alueella ISO 7 – luokkaa. Leikkaussalin leikkausalueella saavutetaan ISO 5 – luokka ja reuna-alueella ISO 6 – luokka.

6.3 Ilman mikrobiologinen puhtaus

Ilman mikrobiologinen puhtaus mitattiin kolmessa eri mittauspisteessä. Mittauspisteiden sijainnit selviävät kuvasta 15. Mittaus 1 suoritettiin leikkauspöydältä, mittaus 2 leikkauspöydän vieressä olevalta instrumenttipöydältä ja kolmas leikkaussalin reuna-alueella sijaitsevalta apupöydältä.



KUVA 15. Ilman mikrobiologisen puhtauden mittauspisteet /30, s. 19/

Taulukossa 12 on esitetty ilman mikrobiologisen puhtauden tulokset. Mikrobiologisen puhtauden mittauksista voidaan todeta että, leikkausalueella tehdyissä mittauksissa ei löytynyt pesäkkeitä. Leikkaussalin reuna-alueella mittapisteestä 3 löytyi 4 pesäkettä. CFU-pitoisuutena tämä tarkoittaa 8 cfu/m^3 . Mittauksen näytteen viljelyn perusteella todettiin että löytyneet pesäkkeet olivat stafylokokki koag.neg. bakteereja. Kyseinen bakteeri on aerobinen ja kuuluu ihmisen normaaliflooraan. Bakteeria esiintyy mm. nenässä, nivusissa ja kainaloissa. Bakteerista mahdollisesti aiheutuvia tauteja ovat vierasesineinfektiot, sairaalabakteremiat ja *S.saprophyticus* virtsatieinfektiot /30, s. 19/.

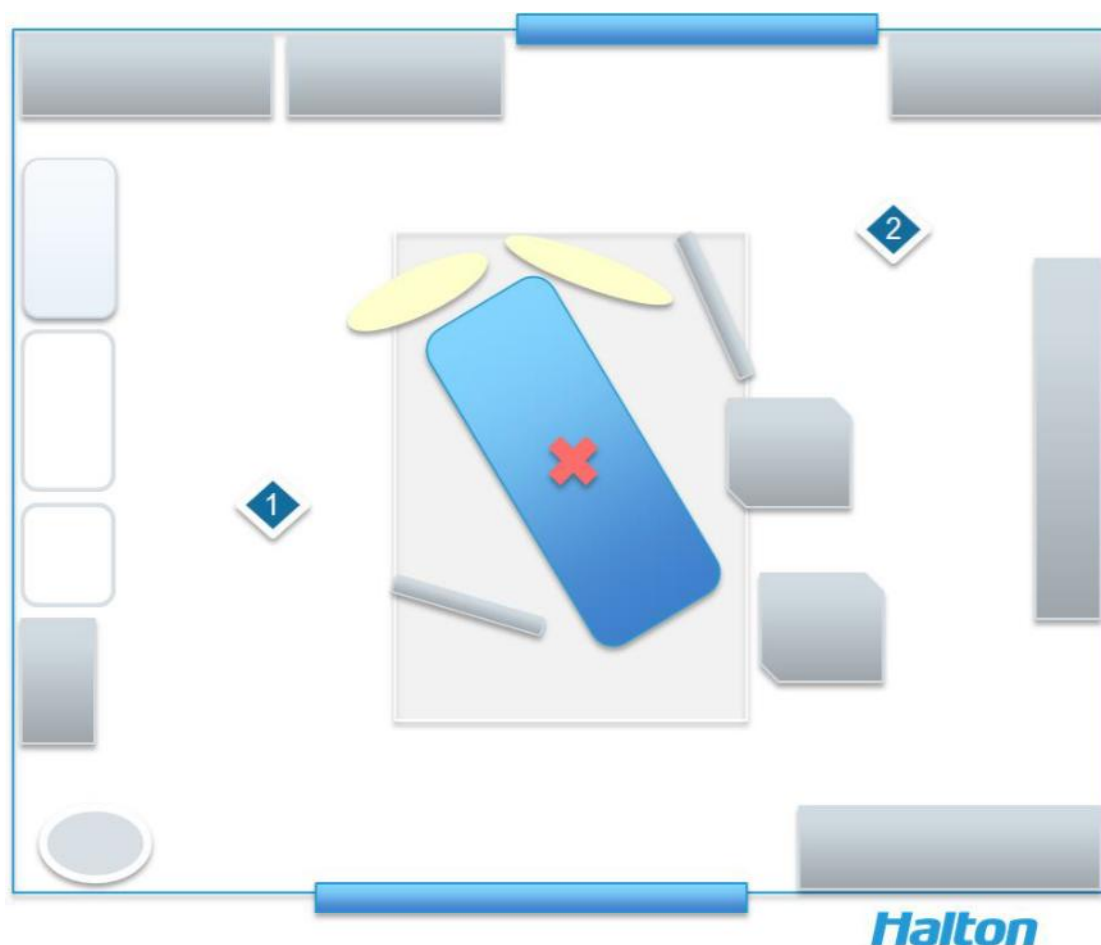
TAULUKKO 12. Ilman mikrobiologisen puhtauden tulokset /30, s. 19/

Sali	Maljatunnus	Sijainti	Tavoite [CFU/m ³]	Pesäkkeitä [n/malja]	Pitoisuus [CFU/m ³]	Löydettyt bakteerit
324	RF1	Referenssi	0	0	0	
324	OT1	Leikkauspöytä	< 1 / < 10	0	< 2	
324	IT1	Instrumenttipöytä	< 1 / < 10	0	< 2	
324	IT2	Instrumenttipöytä	< 1 / < 10	4	8	Staphylococcus koag.neg

Ilman mikrobiologisen puhtauden osalta leikkaussali saavuttaa CEN-TC156-WG18 standardiluonnoksen vaatimusten mukaan Clean Air -luokan. Tässä luokassa mikrobiologisen puhtauden raja-arvona on 10 CFU/m^3 . Kyseinen arvo on voimassa sekä leikkausalueella että leikkaussalin reuna-alueella. Vaikka leikkausalueelta ei löytynyt ollenkaan pesäkkeitä, ei sali kuitenkaan täytä Ultra Clean Air -luokan vaatimusta. Ultra Clean Air -luokan saleille mikrobiologisen puhtauden raja-arvona on koko salissa 1 CFU/m^3 .

6.4 Leikkaussalin toipumisaika ja leikkaussalivalaisinten häiriövaikutus

Leikkaussalin toipumisajan määrittämiseksi leikkaussaliin syötettiin hiukkasia hiukkasgeneraattorilla Topas GmbH ATM 226. Hiukkaset syötettiin leikkaussaliin keskellä leikkauspöytää ja toipumisajan mittaus suoritettiin kahdesta pisteestä. Kuvassa 16 on esitetty mittapisteet 1 ja 2, sekä hiukkas päästö punaisella rastilla.



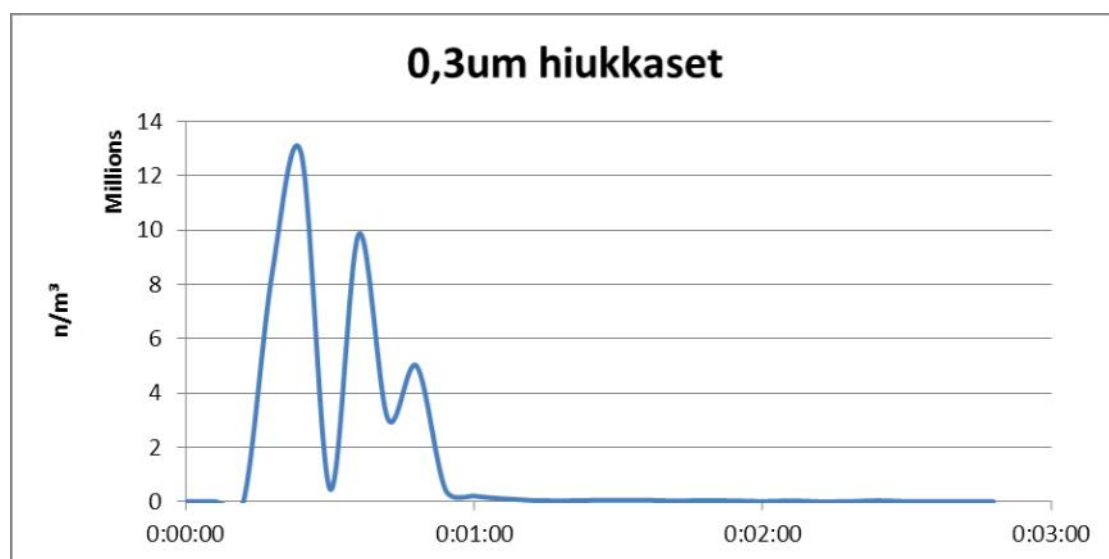
KUVA 16. Toipumisaajan mittapisteet ja hiukkas päästön sijainti /30, s. 23/

Mittauspiste 1 sijaitsee leikkaussalin sillä puolen jossa on nurkkapoistot molemmissa nurkissa. Mittapiste 2 sijaitsee lähinnä sitä nurkkaa, jossa ei ole poistoilmasäleikköä.

Ensimmäisessä pisteessä toipumisajaksi saadaan alenemäkäyrän perusteella 11 minuuttia 15 sekuntia. Tämä vastaa koko leikkaussalin osalta ilmanvaihtokerrointa 23.5. Laskennallisesti tämän perusteella leikkaussalin ilmanvaihdon määräksi saadaan 951 l/s. Pisteessä kaksi mitattu toipumisaika oli 13 minuuttia 24 sekuntia. Tämä vastaa ilmanvaihtokerrointa 20.6 ja laskennallinen ilmamäärä on tämän perusteella 798 l/s. /30, s. 23/

ISO 14644-3 standardin mukaan useammasta pisteestä mitatuista toipumisajoista leikkaussalin toipumisajaksi määritetään pisin mitattu aika. Tässä tapauksessa leikkaussalin toipumisaika on pisteestä 2 mitattu 13 minuuttia 24 sekuntia. Mitattu toipumisaika täyttää standardiluonnoksen CEN-TC156-WG18 Ultra Clean air -luokan leikkaussaleille asetetun toipumisajan, joka on < 15 minuuttia. /30, s. 23./

Leikkaussalivalaisinten häiriövaikutuksen mittaamiseksi hiukkaskgeneraattorilla Topas GmbH ATM 226 tehtiin merkittävä hiukkaspäästö suurimman leikkaussalivalaisimen alapuolelle. Leikkaussalivalavaisin oli sijoitettu leikkauspöydän yläpuolelle sellaiseen asentoon joka kuvaa leikkaustilannetta. Kuvassa 17 on kuvattu 0,3 µm kokoisten hiukkasten pitoisuuden aleneminen.



KUVA 17. 0,3µm hiukkaspitoisuus, n/m³ /30, s. 22/

Leikkaussalivalasimen häiriövaikutuksen toipumisajaksi saadaan epäpuhtauksien läimenemisen perusteella 1 minuutti 40 sekuntia. ISO 14644-3 standardin mukaisella kahden pisteen laskennalla toipumisajaksi saadaan 1 minuutti 17 sekuntia. /30, s. 22/

Mitatut tulokset ovat hyvät ja täyttävät standardiluonnoksen CEN-TC156-WG18 Ultra Clean Air -luokan leikkaussalille asetetun tavoitteen < 5 minuuttia.

6.5 Leikkaussalin painesuhteet

Leikkaussalin painesuhteita tarkasteltiin ympäröiviin tiloihin mikromanometrilla. Leikkaussaliin oli sisäänkäynti molemmilta puolin salia, joten painesuhteet tarkasteltiin molempiin leikkaussalia ympäröiviin käytäviin. Pistokokein suoritetuissa mittauksissa havaittiin leikkaussalin olevan suunnitelmien mukaan ylipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden. Mittauksien tulokset vaihtelivat 22 Pa – 23 Pa ylipaineen välillä. Leikkaussalin ilmanvaihto oli näitä mittauksia tehdessä leikkaustilannetta vastaavassa tilassa. /30, s. 22./

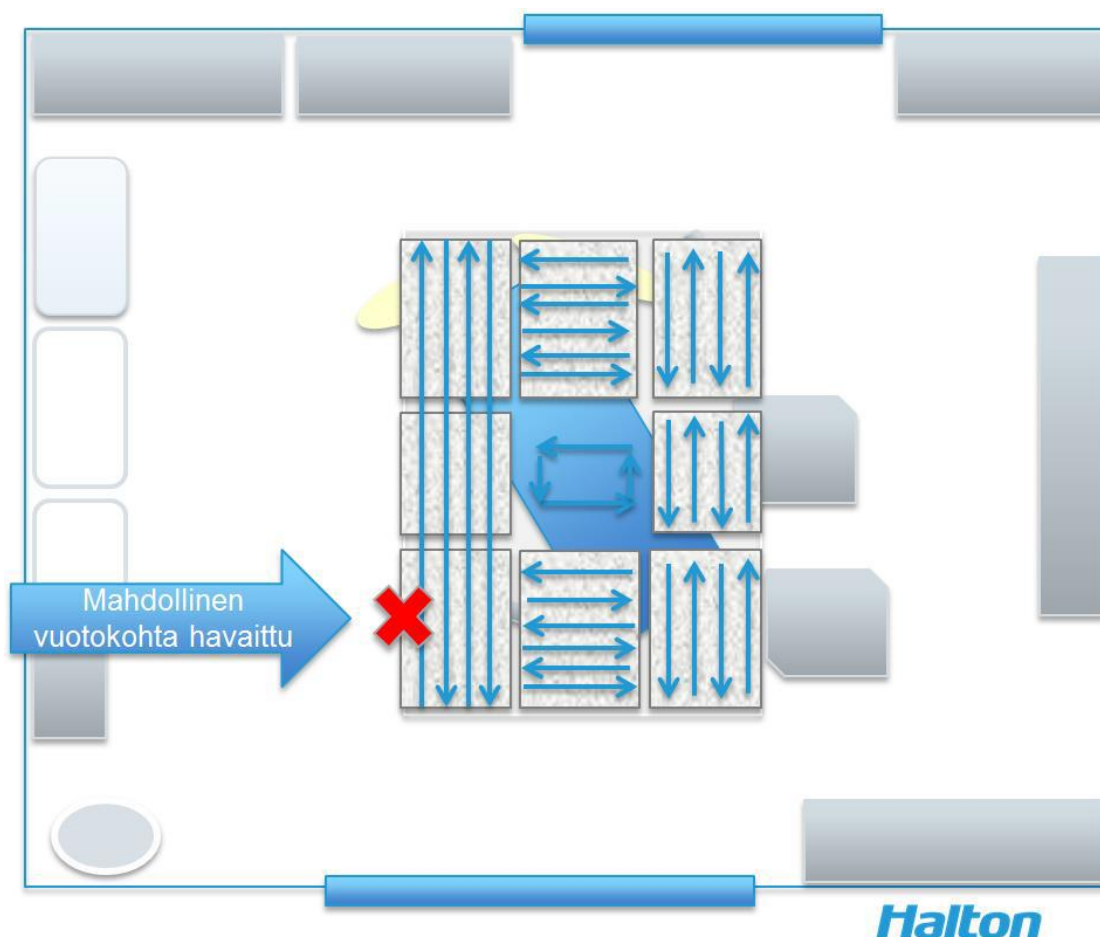
Leikkaussalin painesuhteita seurattiin myös 12 tunnin seurantajaksolla. Seuranta toteutettiin HK Instruments, DPT 2500 - R8 loggerilla. Tämän seurannan aikana leikkaussalin ilmanvaihto ohjautui kiinteistöautomaation toimista leikkaustilanteesta stand by – tilaan. Leikkaussalin ilmanvaihdon ollessa leikkaustilanteessa salin ylipaine vaihteli 20 Pa – 28 Pa välillä. Kiinteistöautomaatio ohjaa leikkaussalin automaattisesti stand by – tilaan sen ollessa tyhjänä neljä tuntia. Salin siirtyessä stand by – tilaan painesuhteet tipahtivat hetkeksi. Stand by – tilassa leikkaussalin ylipaine vaihtelin 16 Pa – 17 Pa välillä. Painesuhteiden tarkemmat vaihtelut seurantajakson aikana on esitetty taulukossa joka on liitteenä 7.

Leikkaussalin painesuhteiden seurantajaksolla sekä pistokokein suoritetuissa mittauksissa leikkaussalin painesuhteiden todettiin olevan suositellulla tasolla. ISO 14644-4 standardin mukaan suositeltu ylipaine on 5 Pa – 20 Pa.

6.6 Hepa-suodattimien tiiveys

Leikkaussalin laminaarikaton tuloilman puhallusalueella sijaitseville Hepa-suodattimille tehtiin hiukkasmittarilla tiiveystarkastus. Tiiveystarkastus suoritettiin

kuljettamalla hiukkasmittarin imukartiota noin 5 cm etäisyydellä suodattimista. Hiukkasmittarilla tutkittiin koko Hepa-suodattimien alue. Kuvasta 18 selviää leikkaussalin laminaarikaton Hepa-suodatin paneelien sijainnit sekä tarkastuksissa havaittu mahdollinen vuotokohta.



KUVA 18. Hepa-suodattimien tiiveyden tarkastus /30, s. 24/

Tarkastuksissa havaittiin hiukkaspitoisuuksissa piikki ainoastaan yhdessä kohdassa. Havaitut pitoisuudet olivat todella pieniä. Havaitut hiukkaset olivat kooltaan $0,3 \mu\text{m}$. ISO 5 luokassa tämän kokoisia hiukkasia sallitaan 10200 n/m^3 , ja mitatut pitoisuudet olivat noin 10 n/m^3 , joten suurta haittaa mahdollisesta vuodosta ei aiheudu. /30, s. 24./

Tarkastuksissa havaittu korkeampi hiukkaspitoisuus voi aiheutua suodattimen vuodosta tai huoneilman indusoinnista laminaarisen tuloilmasuihkun mukaan. Ilman virtauskuvioiden tarkastelujen yhteydessä tehdyllä savukokeella voitiin havaita että, huoneilmaa indusoitui laminaarikaton reunassa olevan matalan ilmanojaimen ja katon välistä laminaariseen tuloilmasuihkuun. Kuvassa 19 suoritettiin savukokeita, joilla

voitiin todeta huoneilman indusoituvan kattoa pitkin lasisen ilmanohjaimen alitse tuloilmasuihkuun.

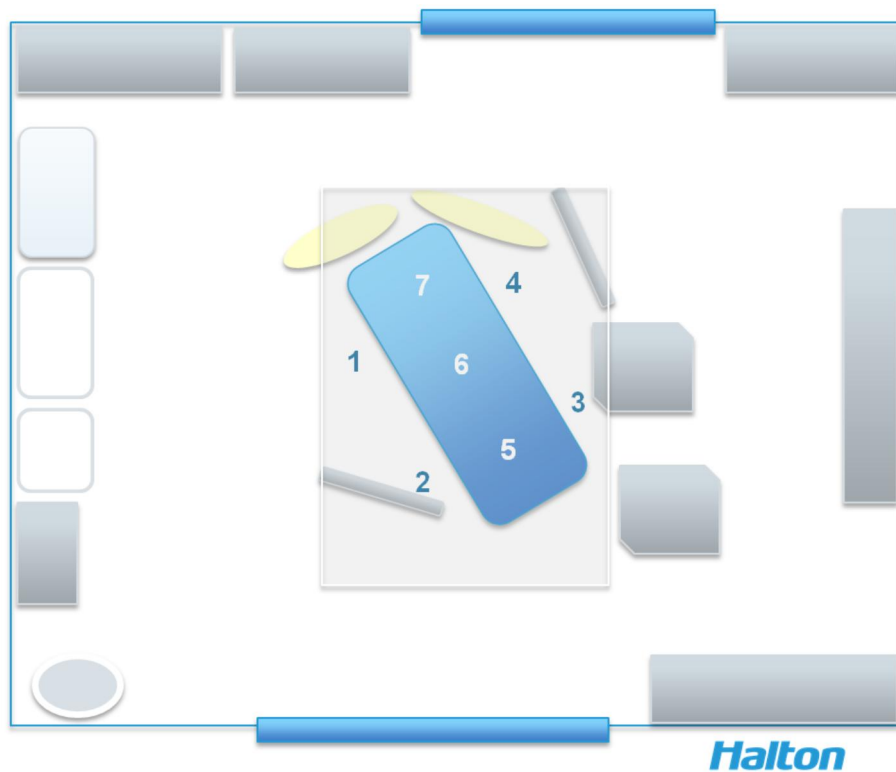


KUVA 19. Savukokeilla havaittu mahdollinen vuoto ilmanohjaimen ja laminaarikaton välissä

Savun indusoituminen tuloilmasuihkuun tapahtui juuri samalla kohtaa missä havaittiin korkeampi hiukkaspitoisuus. Tämän tutkimuksen perusteella ei kuitenkaan voida vielä tässä vaiheessa varmaksi todeta, mistä korkeampi pitoisuus johtui. Mahdollinen vuoto suodattimessa tai ilmanohjaimessa olisi hyvä tarkastaa vielä perusteellisemmin.

6.7 Leikkaussalin olosuhteet

Leikkaussalin henkilökunnan ja potilaan kokemia sisäilmasto-olosuhteita kuvaavat mittaukset käsittivät ilman virtausnopeuden, lämpötilan ja kosteuden mittaamisen. Kuvassa 20 on esitettyä ilman virtausnopeuksien mittauspisteet.



KUVA 20. Ilman virtausnopeuksien mittauspisteet /30, s. 25/

Taulukossa 13 on esitetty potilaan ja leikkaussalihenkilökunnan kokemat ilman virtausnopeudet ja korkeudet joilta ne on mitattu.

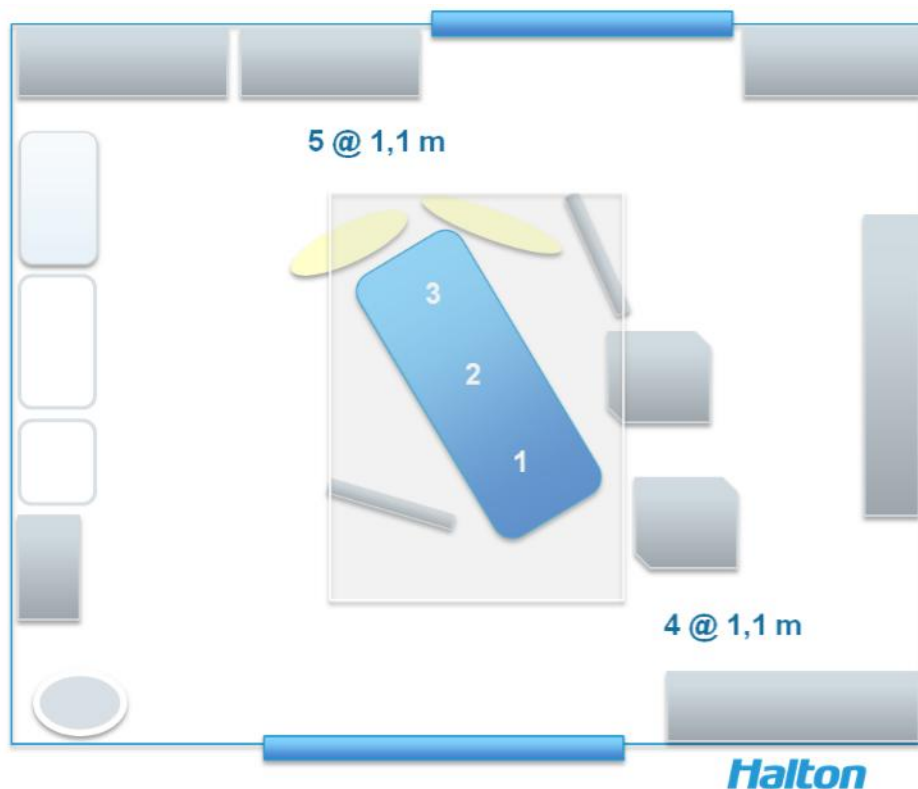
TAULUKKO 13. Ilman virtausnopeudet leikkausalueella /30, s. 25/

Mittapiste	Mittaus korkeus	Nopeus [m/s]
1	1,7 m	0.45
2	1,7 m	0.47
3	1,7 m	0.36
4	1,7 m	0.49
5	20 cm pöydän yläpuolella	0.22
6	20 cm pöydän yläpuolella	0.25
7	20 cm pöydän yläpuolella	0.38

Pisteistä 1,2,3 ja 4 mitattujen leikkaussalihenkilökunnan kokema keskimääräinen ilmantoisuus on 0,44 m/s ja pisteistä 5,6 ja 7 mitattujen potilaan kokema keskimääräinen ilmantoisuus 0,28 m/s /30, s. 25/. Mittauksissa leikkausalueen ilmantoisuuden todettiin olevan suositellulla tasolla < 0,45m/s. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto antaa ilman liikenoisuuden vetokriteeriksi 0,20 m/s. Leikkaussalissa mitatut arvot ylittävät tämän osittain yli kaksinkertaisesti. Korkea ilmantoisuus yhdistettynä laminaarisen ilmanjaon vaatimaan hieman alilämpöiseen tuloilmaan voi muodostaa veden tunteen aiheutumisen. Tässä tapauk-

sessä täytyy kuitenkin ottaa huomioon että laminaarinen ilmanjako tarvitsee ilmalle riittävän nopeuden, jotta laminaarinen ilmasuihku pääsee leikkausalueelle sekoittumatta huoneilmaan. Leikkausta suorittavalla kirurgilla ja häntä avustavilla henkilöillä on leikkaustilanteessa hyvin suojaava vaatetus. Lisäksi heidän työskentelynsä on aktiivista, joten he tuskin kokevat vetoa. Kevyemmin pukeutunut ja vähemmän aktiivista työtä tekevä anestesiahenkilökunta ja muu hoitohenkilökunta taas voivat kokea helpommin vedon tunnetta. Leikkauksessa oleva potilas pyritään myös peittelemään leikkauksen ajaksi mahdollisimman hyvin, jottei hänkään turhaan altistu vedolle.

Leikkausalihenkilökunnan ja potilaan kokemien ilmanlämpötilojen ja ilmankosteuden mittauspisteet on esitelty kuvassa 21.



KUVA 21. Ilman lämpötilan ja kosteuden mittauspisteet /30, s. 26/

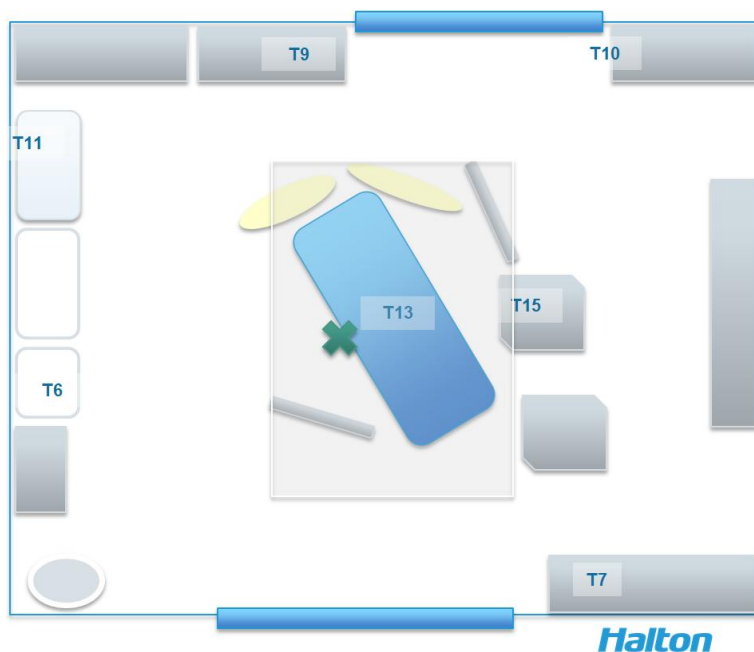
Taulukossa 14 on esitetty mitatut leikkausalihenkilökunnan ja potilaan kokema ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Leikkauspöydältä suoritettavat mittaukset mitattiin noin 20 cm leikkauspöydän yläpuolelta. Leikkaussalin reuna-alueella suoritettavat mittaukset mitattiin noin 1.2 m korkeudesta.

TAULUKKO 14. Ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauspisteet /30, s. 26/

Mittauspiste	Lämpötila [°C]	RH [%]
1	18.6	24.5
2	18.6	24.9
3	18.1	25.5
4	19.5	27.3
5	19.5	26

Leikkauspöydältä mitattujen lämpötilojen keskiarvo oli 18,4 °C ja suhteellisen kosteuden keskiarvo 25,0 %. Leikkaussalin ulkovyöhykkeeltä mitattujen lämpötilojen keskiarvo oli 19,5 °C ja suhteellisen kosteuden 26,7 %. Leikkaussalihenkilökunnan käytössä olevan hallintapaneelin (kuva 12) näyttämät lämpötilan ja kosteuden arvot mitaushetkellä olivat 21,1 °C ja 29,3 %. /30, s. 26./

12 tunnin seuranta jakson aikana leikkaussalin lämpötila pysyi hyvin tasaisena leikkaussalin ilmanvaihdon ollessa At Rest-tilassa. Käyttötilanteessa leikkaussalin hallintapaneelistä oli leikkaussalin lämpötilaksi asetettu 21 °C. Mittapistestä riippuen loggereiden mittaamat lämpötilat vaihtelivat 18,5 °C – 20,7 °C. Kuvassa 22 on esitetty 12 tunnin seurantajakson aikana tehtyjen lämpötila- ja hiukkaspitoisuus mittauksien mittauspisteet. Hiukkasmittauksen paikkaa esittää vihreä rasti ja lämpötila-antureiden paikat on kuvattu T-kirjaimella. Salin siirryttyä kiinteistöautomaation ohjaamana stand by – tilaan, nousivat lämpötilat hieman ja asettuvat lopulta 20 °C - 22 °C välille. Aamulla mittaushenkilökunnan saapuessa leikkaussaliin hallintapaneelin näyttämä arvo oli 22,2. °C. /30, s. 32./ Loggereiden keskiarvoinen lämpötila oli tällöin noin 20,5 °C. Tarkemmat mittaustulokset löytyvät liitteestä 7.



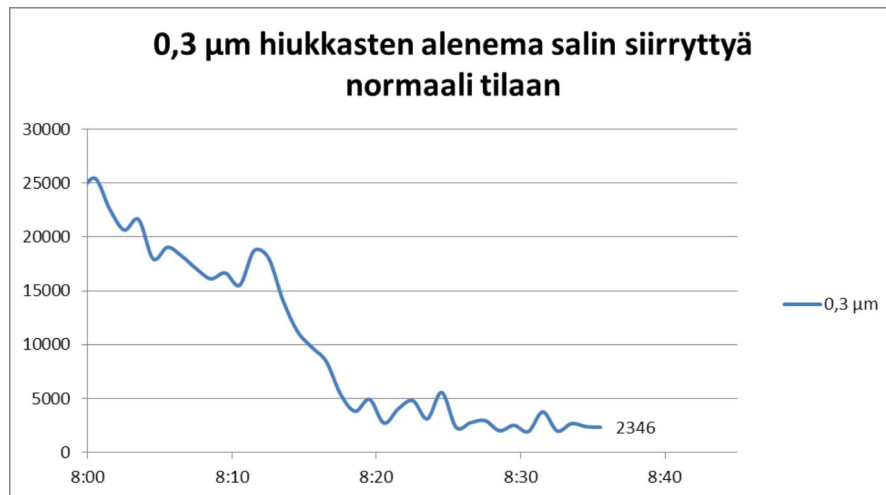
KUVA 22. Lämpötila-antureiden ja hiukkasmittauksen mittauspisteet /30, s. 31/

Hallintapaneelin näyttämät lämpötilan arvot poikkeavat mitatuista arvoista leikkausalueen osalta 2,7 °C ja ulkovyöhykkeen osalta 1,6 °C. Kosteuden osalta hallintapaneelin arvot poikkesivat mitatuista arvoista noin 3,5 prosenttiyksikköä. Molempien mittauksien tulokset ovat hyvin lähellä asetusarvoja ja vastaavat leikkaussalin suositeltuja arvoja (19 °C – 27 °C ja 30 % - 60 %). Mitatun arvon ja hallintapaneelin näyttämän arvon erot johtuvat todennäköisesti siitä, että näyttöpaneelin ilmoittama arvo mitataan poistoilmakanavasta (Liite 5, leikkaussalin rau-säätökaavio).

Leikkaussalin hallintapaneelin ja ilman todellisen lämpötilan ero voi aiheuttaa ongelmia sen suhteen, että varsinkin leikkausalueelle tulee useamman asteen viileämpää ilmaa kuin mitä hallintapaneeli ilmoittaa.

Mittaushenkilökunnan poistuessa leikkaussalista alkoi ilman hiukkaspitoisuus laskea. Hiukkaspitoisuus laski jopa hyvin matalaksi leikkaussalin ollessa tyhjänä ja ilmanvaihdon ollessa leikkaustilassa. Seurantajakson aikana ilman hiukkasmittauksissa ilmeni, että leikkaussalin hiukkasmäärät kasvoivat äkisti leikkaussalin ohjaututtua set back – tilaan. Hiukkaspitoisuus jatkoi tasaista kasvua koko yön ajan kun leikkaussali oli set back – tilassa. Hiukkaspitoisuuksien nousu voi kertoa mahdollisesta vuodosta kanavistossa tai siitä että, leikkaussalissa on jokin sisäinen epäpuhtauksien lähde jota set back – tilan ilmanvaihto ei pysty riittävästi hallitsemaan. Sisäiseen epäpuhtauslähteeseen tai vuotoon vahvistuksen antaa myös hiukkaspuhtausmittaus, jossa mittauspis-

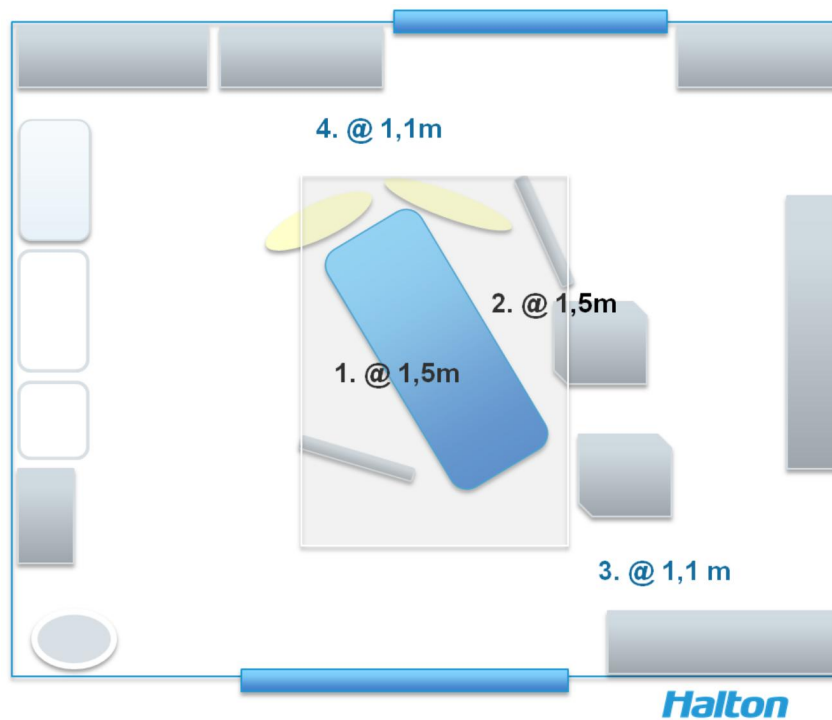
teessä 7 havaittiin muuta leikkaussalia korkeampia hiukkaspitoisuuksia. Tarkempi kuvaaja hiukkastason kehityksestä on liitteessä 7. Hiukkastasot laskivat kuitenkin nopeasti salin siirtyessä aamulla leikkaustilaan. Kuvassa 23 on esitetty $0,3\mu\text{m}$ kokoisten hiukkasten määrä salin palautuessa leikkaustilaan. Salin ilmanvaihto ohjautui leikkaustilaan kello 08:12. /30, s. 32./



KUVA 23. $0,3\mu\text{m}$ hiukkasten alenema /30, s. 32/

Hiukkasmäärät tippuivat noin kolmannekseen kuudessa minuutissa salin ohjaututtua leikkaustilaan. Aiemmin leikkaussalissa suoritettun ilman hiukkasmittauksen perusteella hiukkaspitoisuuden olisi voinut olettaa tippuvan vielä hieman matalammaksi. Tulos on kuitenkin kaiken kaikkiaan hyvä.

Leikkaussalin äänenpainetasojen mittauksessa käytetyt mittauspisteet on esitetty kuvassa 24.



KUVA 24. Äänenpainetasojen mittauspisteet /30, s. 27/

Mittauspisteistä mitatut A-painotetut äänenpainetasot on esitetty taulukossa 15.

TAULUKKO 15. A-painotetut äänenpainetasot /30, s. 27/

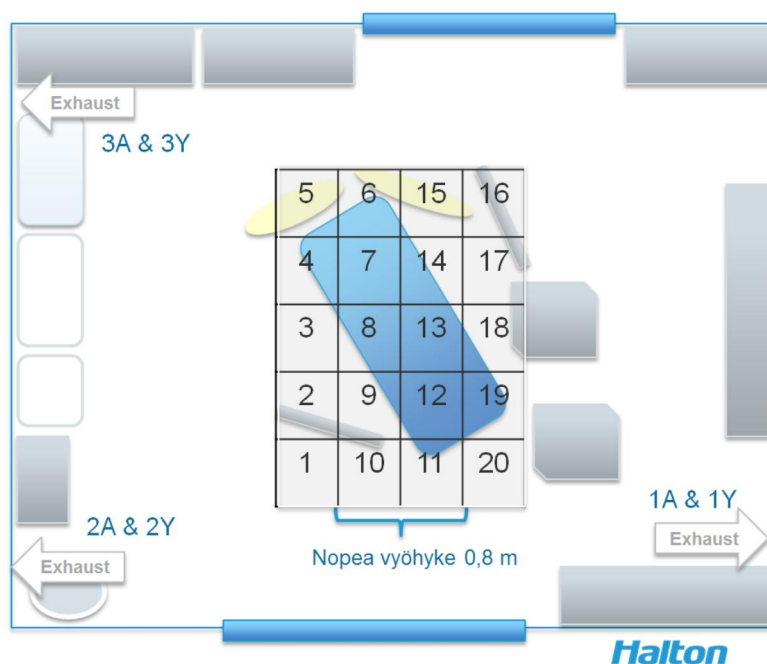
Mittauspiste	äänitaso dB(A)
1	43.3
2	43.3
3	45.6
4	43.7

Tyhjässä salissa leikkausalueen äänitaso oli keskimäärin 43,3 dB(A). Anestesiahoitajan kokema äänitaso oli mittauksissa kaikkein korkein 45,6 dB(A). Leikkausalueen keskimääräinen äänitaso alittaa suositellun 45,0 dB(A), mutta anestesiahoitajan työpisteeltä äänitaso ylittää tämän vaatimuksen. /30, s. 27./ Vaatimuksen mukainen 45 dB(A) on asetettu pelkästään leikkaussalin ilmanvaihdolle. Mitatut äänenpainetasot eivät kuvaa pelkästään leikkaussalin ilmanvaihdon aiheuttamaa ääntä, sillä mittauksiin aikaan leikkaussalin laitteet olivat myös toiminnassa. Leikkaussalissa oli muun muassa kylmäkaappi joka hurisi voimakkaasti. Mittaustuloksista ei siis voida tehdä päätelmää, että leikkaussalin ilmanvaihdon aiheuttama äänitaso ylittää vaatimuksen. Ilmanvaihdon aiheuttaman äänenpainetason selvittämiseksi leikkaussalista olisi pitänyt pystyä määrittämään taustamelun äänenpainetaso. Näissä mittauksissa se ei kui-

tenkaan ollut mahdollista. Äänimittausten tulokset on eritetty terssikaistoittain liitteessä 6.

6.8 Leikkaussalin ilmamäärät ja ilman virtauskuviot

Leikkaussalin laminaarikaton otsapintanopeudet tarkastettiin 20 pisteen mittauksessa. Otsapintanopeudet tarkastettiin myös leikkaussalin poistoilmasäleiköistä. Poistoilmasäleiköt sijaitsivat kolmessa nurkassa leikkaussalia. Poistoilmasäleiköt oli sijoitettu seinän ylä- ja alanurkkaan. Alapoistoilmasäleikköjen otsapintanopeudet tarkastettiin yhdeksää pistettä käyttäen ja yläpoistot kuutta pistettä käyttäen. Kuvassa 25 on esitetty laminaarikaton otsapintanopeuksien mittauskohdat sekä poistoilmasäleikköjen sijainti leikkaussalissa.



KUVA 25. Laminaarikaton otsapintanopeuksien mittapisteet /30, s. 30/

Kuvassa 26 on esitetty otsapintanopeuksien mittauksien tulokset. Otsapintanopeuksien mittauksista tulee selvästi esille että, leikkaussalin laminaarikatto on toteutettu kahdella eri nopeusvyöhykkeellä. Laminaarikaton sisävyöhykkeen ilmannopeuden keskiarvo on noin 0.32 m/s ja ulkoveyöhykkeen keskiarvo noin 0.17 m/s. Laskennallisesti laminaarikaton tuloilmamäärä on tämän perusteella n. 950 l/s. Laskennallinen arvo on melko lähellä suunnitteluarvoa joka on 1050 l/s. /30, s. 29/. Leikkaussalin palautusilmakoneessa ollut virtausmittari näytti myös tuloilmavirraksi 1050 l/s. /30, s.30./ Koko

laminaarikaton otsapintanopeudet ovat suositeltujen nopeuksien 0.15 m/s – 0.4 m/s välillä.

0.16	0.33	0.33	0.16
0.15	0.34	0.31	0.17
0.17	0.25	0.23	0.14
0.18	0.33	0.35	0.16
0.2	0.36	0.36	0.17

KUVA 26. Laminaarikaton otsapintanopeudet, m/s /30, s. 30/

Taulukossa 16 on esitetty poistoilmasäleiköistä mitatut poistoilmamäärät ja virtausnopeudet. Poistoilmasäleikköjen merkinnät A ja Y tarkoittavat seinän ala- ja ylälaidoissa sijaitsevia poistoilmasäleiköitä. Säleikköjen sijainnit selviävät kuvasta 25.

TAULUKKO 16. Poistoilmasäleikköjen ilmamäärät ja virtausnopeudet /30, s. 29/

Poisto	1A	1Y	2A	2Y	3A	3Y
IV-kone	KSK		KSK		POISTO	
nopeus [m/s]	1.64	1.21	1.66	1.16	1.73	1.28
ilmamäärä [l/s]	259	43	263	42	274	46
ilmamäärä [l/s]	302		304		320	
ilmamäärä [l/s]	927					

Poistoilmasäleikköjen yhteenlaskettu laskennallinen poistoilmamäärä on -927 l/s /30, s. 29/. Laskennallinen ilmamäärä on melko lähellä suunnitteluarvoa joka on -1000 l/s.

Leikkaussalin ilman virtauskuvioita visualisoitiin keinosavun avulla. Kuvassa 27 savulla on kuvattu ilman liikettä leikkauspöydän päällä. Savun avulla ilman voitiin todeta laskeutuvan tasaisesti leikkauspöydän päällä ja jatkavan siitä matkaa lattialle. Lattiaa pitkin ilma ohjautui kohti leikkaussalin nurkissa sijainneita poistoilmasäleikköjä. /30, s. 29./



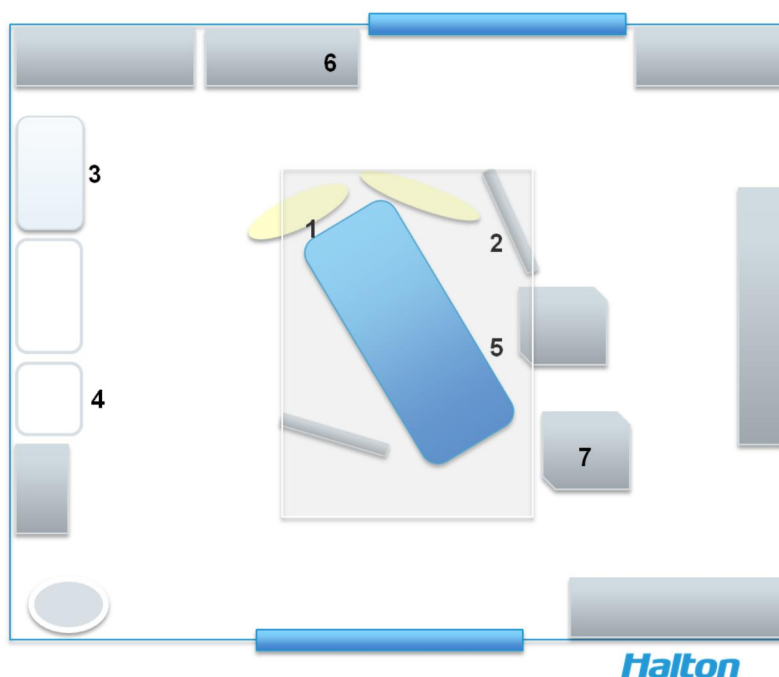
KUVA 27. Ilman liikkeen visualisointi keinosavun avulla /30, s. 31/

Leikkaussalivalaisimet aiheuttivat ilman virtaukseen hieman häiriötä. Tämä ilmeni savun pyörteilynä valaisimien alla. Savulla pyryttiin myös visualisoimaan kirurgista irtoavia päästöjä. Tämä toteutettiin päästämällä savua mittaushenkilöiden vaatteiden alle ja savun annettiin kulkeutua ulos vaatteista hihoista ja kaula-aukosta. Kirurgista irtoavat päästöt laskeutuivat ilmavirran mukana leikkauspöydälle. Savukokeissa huomattiin että nurkassa jossa ei ollut poistoilmasäleikköä, savu jäi leijailemaan paikoilleen hyvinkin pitkäksi aikaa. Tästä voidaan päätellä että kyseisessä osassa leikkaussalia ilman vaihtuvuus on hieman muita osia heikompaa. Tällä ei kuitenkaan ollut vaikutusta ilman laatuun, joka todettiin hiukkasmittauksissa. Mittauksissa suoritettut virtauskuviotarkastelut dokumentoitiin kuvien ja videoiden avulla.

6.9 Leikkaussalin pintapuhtaus

Pölynäytteiden osalta kehoa lähellä olevat helposti tavoitettavat pinnat saivat arvosanan 3/5. Parhaan arvosanan saivat vaikeasti ja helposti tavoitettavat kalustepinnat, joiden arvosana oli 5/5. Kovat lattiapinnat saivat arvosanan 4/5. /30, s. 20./ Tarkempi mittauspöytäkirja on liitteenä 8.

Hygicult TPC -näyteliuskoilla mitattiin kosketuspintojen hygieniatasoja. Näytteet ilmaisevat pinnoilta löytyvät mikrobit. Näyteliuskojen mikrobikasvustoja ei viljelty laboratoriossa mikrobien tunnistamiseksi. Liuskoilla ilmaistiin vain pinnoilta löytyvien bakteerien määrää. Kuvassa 28 on esitetty Hygicult TPC kosketuspintojen pintapuhtauden mittauspisteet.



KUVA 28. Hygicult TPC mittauksen mittapisteet /30, s. 20/

Pintapuhtausnäytteet olivat pääosin puhtaita. Pisteestä 3 (roskakärryn kahva) otetusta näytteestä löytyi eniten kasvustoa, n. 1 CFU/cm². Leikkauspöydän käsinojasta (piste 5) löytyi myös hieman kasvustoa. Kasvustoa löytyi myös pisteestä 6 ja 7. /30, s. 20/

Leikkaussalista tutkittiin myös valkuaisainejäämiä CleanCard Pro -pyyhkäisyliuskoilla. Tulokset ovat taulukossa 17.

TAULUKKO 17. CleanCard Pro näytteiden tulokset /30, s. 21/

Mittauspiste	Mittapaikka	Tulos
1	Työpöytä kaapin vieressä	Puhdas
2	Instrumenttipöytä iso	Hieman epäpuhdas
3	Instrumenttipöytä pieni	Puhdas
4	Tietokonepöytä	Puhdas
5	Sairaalajätteen laatikko	Puhdas
6	Laitteen taso	Puhdas

Valkuaisainejäämiä löytyi ainoastaan yhdeltä instrumenttipöydältä. Pintapuhtausnäytteet eivät varsinaisesti ole pakollinen osa leikkaussalien ilmanvaihdon todentamismittauksia. Näissä pilottimittauksissa ne kuitenkin suoritettiin. Jokaisella sairaalalla on pintapuhtauksien, siivouksen ja hygienian tason varmistamiseksi käytössä oma laadunvalvonta järjestelmä. Yhtenäistä valtakunnallista järjestelmää sairaaloilla ei kuitenkaan ole.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Pilottimittauksissa tutkitun leikkaussalin ilmanvaihdon todettiin toimivan oikein ja leikkaussalin ilmanvaihtojärjestelmä sekä iv-konehuoneet olivat kaikin puolin siistissä kunnossa. Leikkaussalia palveleva ulkoilmakone sekä palautusilmakone olivat puhtaat ja niiden huollosta oli huolehdittu hyvin. Ilmanvaihtokoneiden huollon dokumentointi oli myös ajan tasalla. Rakenteellisesti molemmat ilmanvaihtokoneet olivat toteutettu oikeaoppisesti ilman käsittelyn ja suodatuksen osalta. Leikkaussalin rakenteiden todettiin olevan myös hyvin tiiviit ($n_{50} = 1,5 - 1,8$).

Leikkaussalin ilman hiukkaspitoisuudet todettiin mittauksissa leikkausalueella alhaisiksi ja leikkaussalin ulkovyöhykkeellä kohtalaisiksi. Leikkausalueen osalta ilman hiukkaspuhtaus saavuttaa ISO 5 luokan ja ulkovyöhykkeen osalta ISO 6 luokan. Leikkaussalin ilman hiukkaspuhtaus tavoittaa CEN-TC156-WG18 standardiluonnoksen asettamat vaatimukset Ultra Clean Air -luokkaan.

Ilman mikrobiologisen puhtauden osalta leikkaussali saavuttaa leikkausalueella CEN-TC-156-WG18 määrittämän Ultra Clean Air -luokan vaatimuksen. Leikkausalueen CFU-pitoisuus oli 0 cfu/m^3 , vaatimuksen ollessa $\leq 1 \text{ cfu/m}^3$, täyttää leikkausalue tämän vaatimuksen. Leikkaussalin reuna-alueella ilman mikrobiologinen puhtaus saavuttaa Clean Air -luokan vaatimuksen. Reuna-alueen CFU-pitoisuus oli 8 cfu/m^3 , vaatimuksen ollessa $\leq 10 \text{ cfu/m}^3$, täyttää reuna-alue tämän vaatimuksen. Ilman mikrobiologisen puhtauden vaatimus on voimassa koko leikkaussalissa, joten mikrobiologisen puhtauden osalta leikkaussali täyttää reuna-alueen tuloksen mukaan Clean Air -luokan vaatimuksen.

Leikkaussalin toipumisajan ja leikkaussalivalaisinten häiriövaikutuksen palautumisajan todettiin täyttävän Ultra Clean Air -luokan vaatimuksen. Häiriövaikutuksen ja toipumisajan täyttäessä Ultra Clean Air vaatimuksen, voidaan todeta leikkaussalin ilmanjaon toimivan oikein sekä laminaarisen ilmasuihkun olevan oikein suunnattu.

Hepa-suodattimien tiiveystarkastuksessa suodattimien havaittiin olevan tiiviitä ja suodattimien päällä olevan tasainkankaan ehjä ja puhdas. Hepa-suodattimissa ei havaittu merkittäviä vuotoja. Leikkaussalin ovelta katsottuna vasemmassa laidassa laminaarikattoa havaittiin pieniä hiukkaspitoisuuksia. Merkkisavukokeissa juuri tässä kohtaa

havaittiin savun kulkeutuvan ilmanohjaimen ja katon välistä laminaariseen ilmasuihkuun. Savu kuvastaa kuinka huoneilma pääsee ilmanohjaimen alitse sekoittumaan tuloilmaan. Tämän voidaan olettaa olevan syy miksi tässä kohtaa havaittiin muita osia korkeampia hiukkaspitoisuuksia. Korjaustoimenpiteinä suodattimien tiiveys tulisi tarkastaa ja ilmanohjaimen ja katon välinen mahdollinen rako tiivistää.

Leikkaussalin olosuhteiden todettiin olleen suositelluissa arvoissa sekä hetkellisissä mittauksissa, että pidemmän seurantajakson aikana. Leikkaussalin lämpötilan havaittiin poikkeavan hieman hallintapaneelin ilmoittamasta lämpötilasta. Leikkaussalin ilmankosteus oli hieman alhainen, mutta sekin suositeltujen arvojen rajoissa. Sairaalan LVI- käyttöhenkilökunnalta saadun tiedon mukaan kosteus on tarkoituksen mukaan säädetty 30 %. Leikkausalueelta mitatut ilman virtausnopeudet olivat myös suositusten mukaisia. Alilämpöiseen tuloilmaan yhdistettynä korkea ilman virtausnopeus voi kuitenkin aiheuttaa vedontunnetta. Leikkaussalissa mitatut äänenpainetasot alittavat keskimäärin suositellun tason. Anestesiahoitajan työpistettä tarkasteltaessa suositeltu arvo ylittyy hieman. Leikkaussalin painesuhteissa tapahtui hieman vaihtelua leikkaussalin ilmanvaihdon siirtyessä leikkaustilanteesta stand by-tilaan. Leikkaussalin painesuhteet pysyivät kuitenkin ylipaineisena ympäröiviin koko seurannan ajan. Leikkaussalin ilman hiukkaspitoisuuden seurannassa havaittiin että hiukkaspitoisuus lähti voimakkaaseen nousuun salin siirryttyä stand by-tilaan. Hiukkaspitoisuuksien nousu voi kertoa mahdollisesta vuodosta kanavistossa tai siitä että, leikkaussalissa on jokin sisäinen epäpuhtauksien lähde, jota stand by-tilan ilmanvaihto ei pysty riittävästi hallitsemaan. Leikkaussalin käyttöhenkilökunta kertoi myös leikkaussalin sisäilman olevan aamuisin tunkkaista. Selkeää syytä hiukkaspitoisuuden nousulle mittauksissa ei kuitenkaan saatu selville.

Leikkaussalissa mitatut tulo- ja poistoilmamäärät olivat hyvin lähellä suunnitteluarvoja. Ilmavirtojen voidaan todeta olevan riittävät kyseiseen leikkaussaliin. Leikkaussalin kokonaisilmanvaihtokerroin oli n. 271/h kun suositus on vähintään 17 1/h. Ulkoilmanosuus on 9 1/h. Leikkaussalin stand by – tilan ilmamäärää voi olla syytä tarkistaa, johtuen siitä että leikkaussalin henkilökunta on todennut sen tuntuvan tunkkaiselta. Ilmamäärien tarkistus ja hiukkaspuhtaustason seurantamittauksissa todetun epäpuhtauslähteen poiston myötä ilmanlaatu paranee. Virtauskuvioden tarkastelussa ilmavirtojen todettiin käyttäytyvän suunnitellulla tavalla. Ainoastaan nurkassa jossa ei ollut

poistoilmasäleikköä ilman todettiin vaihtuvan hieman huonommin kuin muualla salissa. /30, s. 34./

Leikkaussalin pintapuhtauden todettiin olevan hyvällä tasolla. Leikkausalueella pintapuhtausnäytteissä ei ollut ollenkaan mikrobeja. Mikrobeja löytyi ainoastaan leikkaussalin roskavaunun kahvasta. Valkuaisainejäämiä löytyi vain yhdeltä instrumenttipöydältä. Pölynäytteissä lähellä kehoa olevat pinnat todettiin kohtalaisen puhtaiksi kalustepinnat erittäin puhtaiksi ja lattiat puhtaiksi. Leikkaussalin ilmanvaihdon todentamismittauksien kannalta pintapuhtauden tarkistus ei ole oleellista.

Leikkaussalin ilmanvaihdon toimivuuden, ilman laadun ja puhtauden todettiin yltävän pääosin korkealle tasolle. Leikkaussalin olosuhteet yltävät lähes kaikilta osin CEN-TC156-WG18 standardiluonnoksen määrittämään Ultra Clean Air -luokkaan. Ainoastaan ilman mikrobiologisen puhtauden osalta leikkaussali tavoittaa vain Clean Air -luokan vaatimuksen.

7.1 Mittauksien kehitystarpeet ja tulevaisuus

Opinnäytetyön toteuttamisen aikana leikkaussalien ilmanvaihdon todentamismittaus palvelu julkistettiin asiakkaille. Palvelun julkistaminen tapahtui 10.2.2016 Suomen sairaalatekniikan päivien yhteydessä järjestetyssä julkistamistilaisuudessa. Leikkaussalien ilmanvaihdon todentamismittaus palvelun on tarkoitus olla sairaaloilla ja sairaanhoitopiireille myytävä palvelu, jonka avulla eri sairaaloiden leikkaussalin ilmanvaihdon toimivuutta ja laatua pystytään määrittämään.

Pilottimittauksien tulosten luovutustilaisuus järjestettiin Granlund Kuopio Oy: n toimistolla 25.2.2016. Jo tässä luovutustilaisuudessa käytyjen keskustelujen perusteella tuli esille todentamismittauksien kehitystarpeita. Suurimpana kehitystarpeena mittauksissa ja tulevan standardin sisällössä nousi esille tarve pystyä suorittamaan mittauksia oikean leikkauksen aikana, jolloin tilan epäpuhtauskuormitus on todenmukainen ja ilmanvaihdon oikea suorituskyky saadaan varmistettua.

Tällä hetkellä Suomessa ei juurikaan ole toteutettu leikkaussalien ilmanvaihdon mittauksia oikeiden leikkausten aikana. Mittauksia on tehty simuloitujen leikkausten aikana. Leikkausten aikaisissa mittauksissa tulisi pystyä monitoroimaan leikkaussalin il-

mavirtoja sekä leikkaussalin ovien käytön vaikutusta leikkaussalin painesuhteisiin, ilman hiukkaspitoisuuteen sekä ilman mikrobiologiseen puhtauteen.

LÄHTEET

1. Ilma jota hengitämme. 2013. Euroopan ympäristökeskus. WWW-dokumentti. <http://www.eea.europa.eu/fi/ymparisto-signaalit/signaalit-2013/artikkelit/ilma-jota-hengitamme>. Päivitetty 04.3.2014. Luettu 21.1.2016.
2. Sisäilmayhdistys. Terveelliset tilat. WWW-dokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Hiukkasmaiset-epapuhautet>. Päivitetty 12.1.2016. Luettu 21.1.2016.
3. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012.
4. Ilmatieteenlaitos, Ilman kosteus. WWW-dokumentti. <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>. Päivitetty 22.1.2016. Luettu 22.1.2016.
5. Ilmatieteenlaitos, Lämpötila ja kosteus. WWW-dokumentti. <http://ilmatieteenlaitos.fi/lamputila-ja-kosteus#15>. Päivitetty 22.1.2016. Luettu 22.1.2016.
6. Seppänen, Olli & Seppänen, Matti. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Sisäilmastoyhdistys. Espoo: SIY Sisäilmatieto OY. 2007.
7. Seppänen, Olli. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Espoo: Suomen LVI-yhdistysten liitto. 1996.
8. Rakennustieto OY. Sisäilmastoluokitus 2008. WWW-sivu. <https://www.rakennustieto.fi/ezproxy.mikkeli.fi/kortistot/tuotteet/103571.html.stx>. Päivitetty 30.11.2015. Luettu 25.1.2016.
9. Rakennustieto OY, 2008. LVI-kortti 05-10440. Sisäilmastoluokitus 2008. PDF- dokumentti. Luettu 25.1.2016.
10. Sisäilmayhdistys. Fysikaaliset tekijä. WWW-dokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Fysikaaliset-tekijat>. Päivitetty 25.1.2016. Luettu 25.1.2016.
11. Seppänen, Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Talotekniikka- Julkaisut OY/Suomen LVI-liitto. 2004.
12. Koskinen, Veli 2013. Leikkaussalin ilmanvaihdon tutkiminen. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/68196/Veli_Koskinen.pdf?sequence=1.
13. Rakennustieto OY, 1993. LVI-kortti 70-40030. Sisäilman epäpuhtaudet. PDF- dokumentti. Luettu 26.1.2016.
14. Sairaaliitto. Energiansäästö ja sairaalahygienia. Helsinki: Sairaaliitto. 1990.
15. Sairaaliitto. Sairaaloiden LVI-laitteiden hygienia. Helsinki: Sairaaliitto. 1990.
16. Constantinos, A. Balaras&Dacalaki, Elena&Gaglia, Athina 2006. Group Energy Conservation, Institute for Environmental Research and Sustainable Development, National Observatory of Athens. PDF-dokumentti. Luettu 9.2.2016.
17. Kurnitski, Jarek & Palonen, Jari 2007. Sairaaloiden ilmanvaihdon suunnittelu ja ohjeistus. PDF-dokumentti. Teknillinen korkeakoulu.

18. SFS-EN ISO 14644-1 Standardi. Suomen standarsoimisliitto, 2015. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 1: Hiukkaspitoisuuden perusteella tehtävä puhtausluokitus. PDF-dokumentti. Vahvistettu 31.12.2015. Luettu 9.2.2016
19. Takki, Tarja. Leikkaussalin mikrobi- ja hiukkaspitoisuus eri ilmanjakotavoilla. Helsingin Teknillinen korkeakoulu. Koneinsinööriosasto. Diplomityö. 1988.
20. SFS-EN ISO 14644-4 Standardi. Suomen standarsoimisliitto, 2001. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 4: Suunnittelu, Rakentaminen ja käynnistys. PDF-dokumentti. Vahvistettu 11.12.2001. Luettu 10.2.2016
21. CEN/TC156/WG18, Ventilation in hospitals. Draft Standard Part 1: Coherent hierarchic structure and common terms and definitions for a suite of standards related to ventilation in hospitals. European Committee of standardization. CEN.
22. Attila, Tuomas 2014. Modulaarisen leikkaussalin ilmanvaihdon tutkiminen. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti.
http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/73185/Attila_Tuomas.pdf?sequence=1.
23. Rakennustieto OY, 2012. LVI-ohjekortti 31-10507. Hiukkassuodatuksen peruskäsitteet. PDF-dokumentti. Luettu 11.2.2016.
24. Camfil OY. Suodatintekniikka. WWW-sivu.
<http://www.camfil.fi/Suodatintekniikkaa/Standardeja-ja-asetuksia/EN-1822/>. Päivitetty 11.2.2016. Luettu 11.2.2016.
25. CEN/TC/WG18, Ventilation in hospitals. Draft Standard Part 2 - Requirements for ventilation and air-conditioning in general medical locations. European Committee of standardization. CEN.
26. CEN/TC/WG18, Ventilation in hospitals. Draft Standard Part3 – Ventilation of operating suites. European Committee of Standardization. CEN.
27. Jantunen, Olli-Pekka 2012, Sairaalailmanvaihdon standardisointi. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/43791/Jantunen_Olli-Pekka.pdf?sequence=1.
28. SFS-EN ISO 14644-3 Standardi. Suomen standarsoimisliitto, 2006. Metrologia ja testimenetelmät. PDF-dokumentti. Vahvistettu 26.6.2006 Luettu 29.2.2016
29. Ryytänen, Jouko 2007. Sairaalailmanvaihdon suunnitteluohjeita. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
30. Halton OY, 2016. Leikkaussaliselvitys. PDF-dokumentti. Julkaistu 2.2.2016.
31. Vasara, Jukka 2016. Henkilökohtainen tiedonanto. 09.04.2016. Toimitusjohtaja. Granlund Kuopio Oy.

4.2 Performance criteria occupancy state operational

It should be taken into account that the criteria for Operational Performance are the result of the significant influence of the user and all medical equipment, supplies and consumables during operation upon the Performance At Rest of the ventilation system.

Table 1 Criteria for Operational Performance for OR*) room, Ultra clean air

	Standard	Specification	Operational	
			Critical zone	Periphery area
Microbiological test Air	ISO 14698	Cfu/m3**)	<10	<10
Microbiological test Sedimentation	ISO 14698	Cfu/Agar Ø90mm 1 hr **)	≤1	≤1

*) also applicable for the Instrument Lay-up area

**) See for metrology and data management section 7.2

Note: For Operational status No performance criteria are required for particles, recovery, segregation

Table 2: Criteria for Operational Performance for OR*) room, Clean air

	Standard	Specification	Operational	
			Critical zone	Periphery area
Microbiological test Air	ISO 14698	Cfu/m3	<100	<100
Microbiological test Sedimentation	ISO 14698	Cfu/Agar Ø90mm 1 hr	≤12	≤12

*) also applicable for the Instrument Lay-up area

**) See for metrology and data management section 7.2

Note: For Operational status no performance criteria are required for particles, recovery, segregation

4.3 Performance criteria occupancy state at rest

Table 3: Protected Zone system: At Rest Performance criteria for OR*) room Ultra clean air

	Standard	Specification	At rest	
			Protected zone	Periphery area
Particle concentration	ISO 14644-1	≥0,5µm	ISO 5	ISO 6

Segregation test	ISO 14644-3	By National test method	Yes **)	n.a.
Recovery test	ISO 14644-3	100:1	n.a.	<15min
OR-lamp wake Recovery test	ISO 14644-3	100:1	<5min**)	n.a.
Not only ventilation based aspects				
Microbiological test Air	ISO 14698	Cfu/m3	<1	<1
Microbiological test Sedimentation	ISO 14698	Cfu/Agar Ø90mm 1 hr	[<1]***)	[<1]***)

1 *) also applicable for the Instrument Lay-up area

2 **) when implemented by national test method

3 ***) When results are above limits thorough investigation is needed.

4

5 Table 4: Dilution mixing system: At Rest Performance criteria for OR*) room Ultra clean air

			At rest
	Standard	Specification	
Particle concentration	ISO-14644-1	≥0,5µm	ISO 5
Recovery test	ISO 14644-3	100:1	<15min
Not only ventilation based aspects			
Microbiological test Air	ISO 14698	Cfu/m3	<1
Microbiological test Sedimentation	ISO 14698	Cfu/Agar Ø90mm 1 hr	[<1]**)

6 *) also applicable for the Instrument Lay-up area

7 **) When results are above limits thorough investigation is needed.

8

9 Table 5: Protected Zone system: At Rest Performance criteria for OR*) room Clean air

			At rest	
	Standard	Specification	Critical zone	Periphery area
Particle concentration	ISO-14644-1	≥0,5µm	ISO 7	ISO 7
Recovery test	ISO 14644-3	100:1	<20min	<20min
Not only ventilation based aspects				
Microbiological test Air	ISO 14698	Cfu/m3	<10	<10
Microbiological test	ISO 14698	Cfu/Agar Ø90mm 1 hr	[<1]**)	[<1]**)

Sedimentation				
---------------	--	--	--	--

1 *) also applicable for the Instrument Lay-up area

2 **) When results are above limits thorough investigation is needed.

3 Table 6: Dilution mixing system: At Rest Performance criteria for OR*) room Clean air

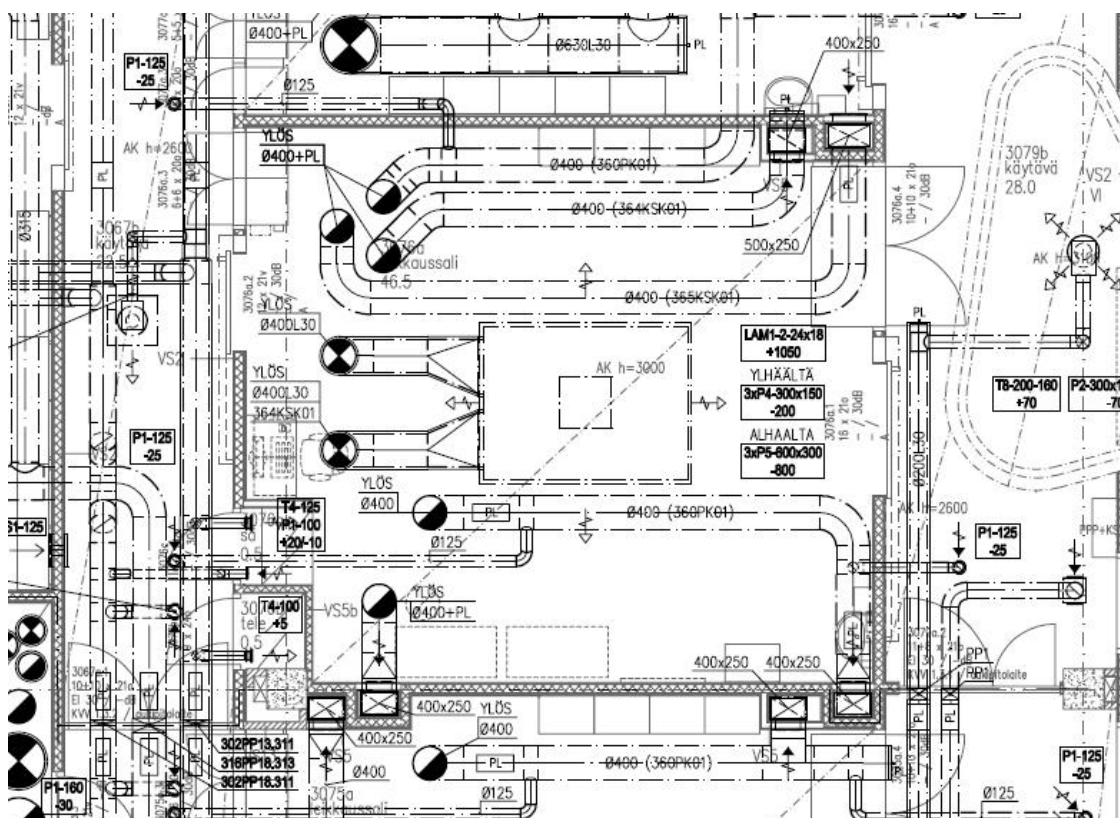
			At rest
	Standard	Specification	
Particle concentration	ISO-14644-1	$\geq 0,5\mu\text{m}$	ISO 7
Recovery test	ISO 14644-3	100:1	<20min
Not only ventilation based aspects			
Microbiological test Air	ISO 14698	Cfu/m ³	<10
Microbiological test Sedimentation	ISO 14698	Cfu/Agar Ø90mm 1 hr	[<1]**)

4 *) also applicable for the Instrument Lay-up area

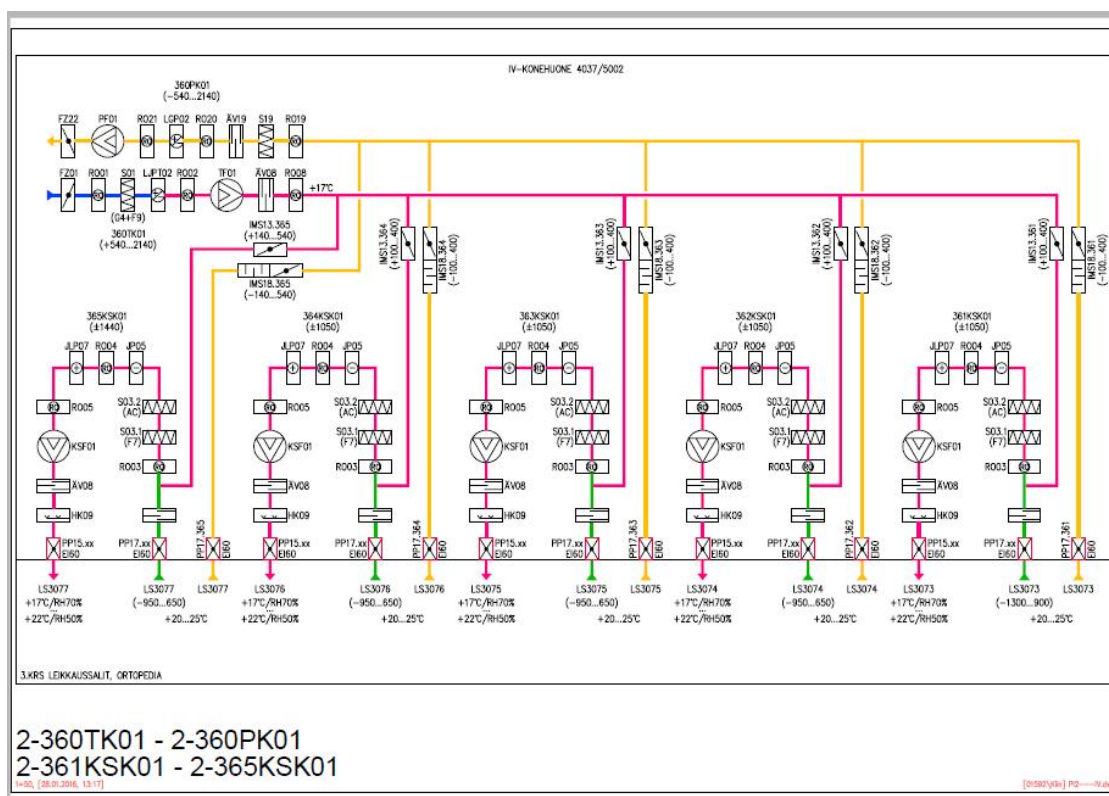
5 **) When results are above limits thorough investigation is needed.

6 Note: the at rest state requires at least the minimal heat load that could be applicable during normal use
7 and as much as equipment as minimally around and used.

Leikkaussalin iv-tasokuva

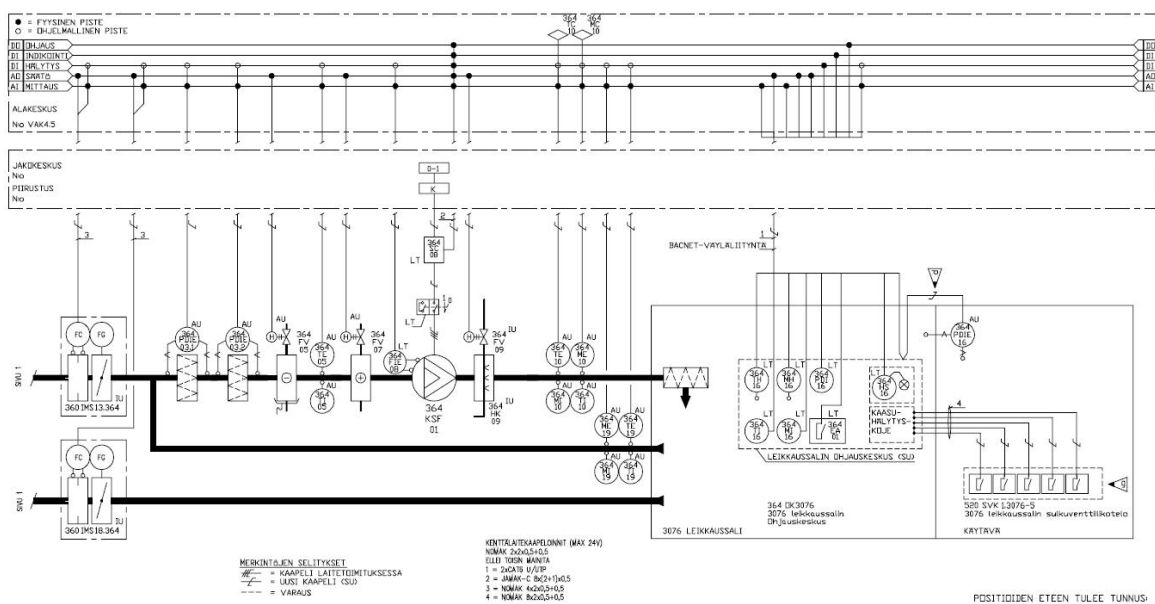


Leikkaussalin iv-periaatekaavio



LITE 5.

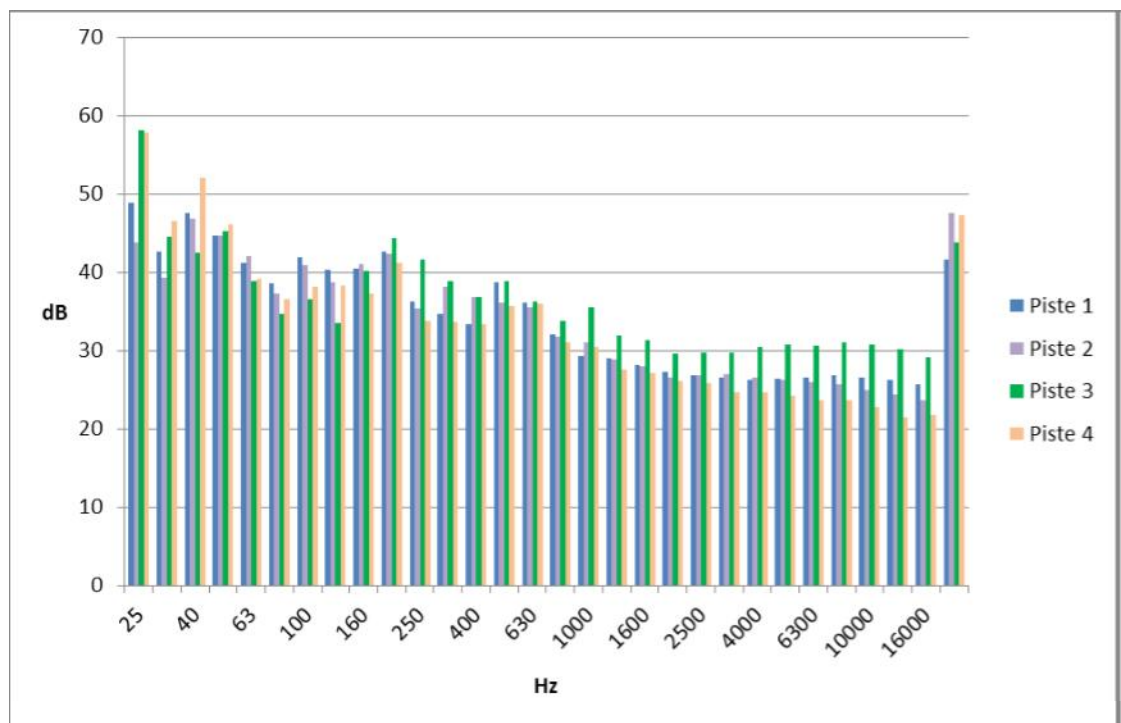
Leikkaussalin rau-säätökaavio



POSITIDIDEN ETEEN TULEE TUNNUS:
2-

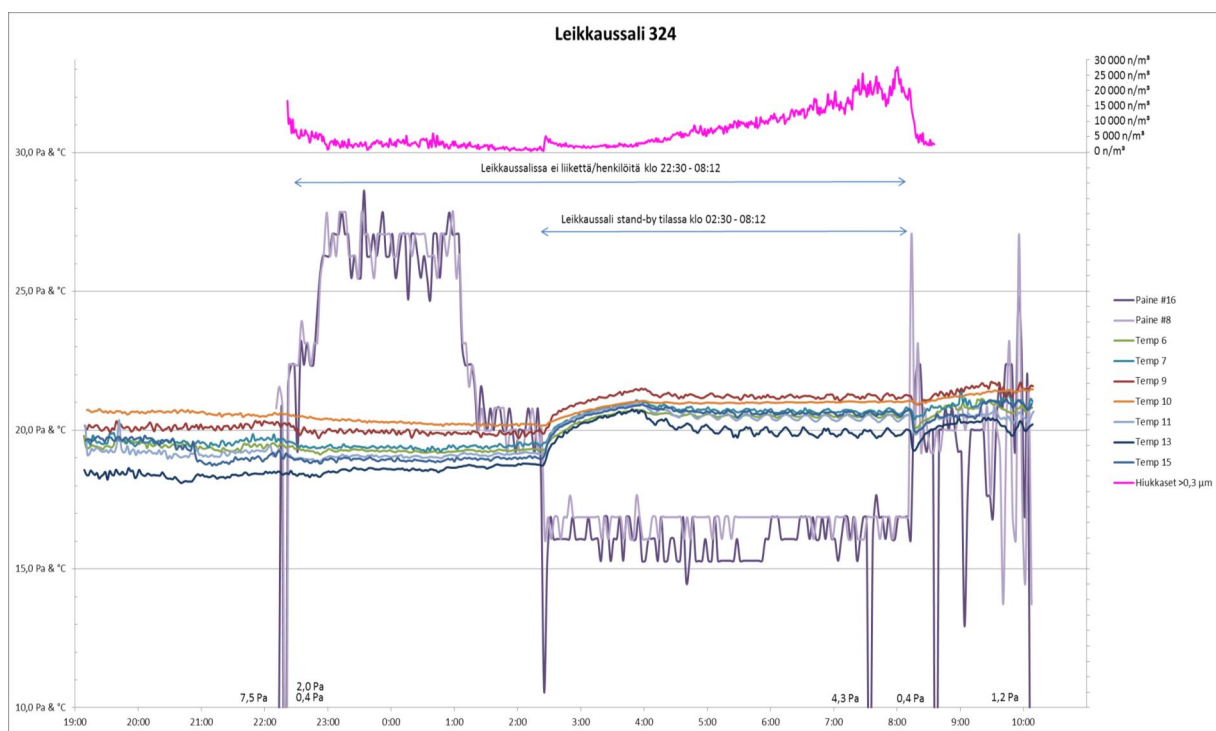
LIITE 6.

Äänimittauksen tulokset terssikaistoittain



LIITE 7.

Seurantamittauksien tulokset



LIITE 8.

Pintapölynäytteiden tulokset

Asiakas:	KYS					
Kohde:	KYS					
Siivousajankohta	Pvä/klo:	29.1.2016				
Maittausajankohta	Pvä:	29.1.2016	klo: 20:00		Mittaja:	Anna Nummelin
Tarkoitus	1 Lopputuloksen tarkistus ja vertaaminen sovittuihin vaatimuksiin (heti siivouksen jälkeen) 2 Järjestelmän tarkastaminen ja vertaaminen lopputulosta koskeviin vaatimuksiin (milloin vain) 3 Likaantumisnopeuden mittaaminen (puhdistetulta pinnalta säännöllisesti)					
Tarkastettu tila	KEHOA LÄHELLÄ OLEVAT PINNAT	KALUSTEPINNAT		KOVAT LATTIAT		HUOM
	A	A	NA	A	NA	
	1.9	0.5	4.5	4.3	2.6	
	0.8	0.6	0.1	2.4	2.8	
	1.5	0.3		3.9	6	
	1	1.4		1.2	3.5	
keskiarvo	1.3	0.7	2.3	2.95	3.725	
max	1.9	1.4	4.5	4.3	6	
min	0.8	0.3	0.1	1.2	2.6	
mediaani	1.25	0.55	2.3	3.15	3.15	
Arvosana	3	5	5	4	4	

* A= helposti tavoitettavat pinnat

* NA = vaikeasti tavoitettavat pinnat